

**Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen marktgängiger
und neu entwickelter Verblendkomposite**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)









**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Andrea Staufenbiel
geboren am 31.08.1979 in Halle/ Saale**

Gutachter:

1. Prof. Dr. D. Welker, Jena
2. Prof. Dr. Dr. L. Stößer, Jena
3. Prof. Dr. K.-E. Dette, Halle

Tag der öffentlichen Verteidigung: 05.07.2005

VK	Verblendkomposit
AG	 Artglass
ES	 Estenia
GR	 Gradia
SC	 Sculpture
SG	 Signum
SN	 Sinfony
SO	 Solidex
TA	 Targis
PF	Prüfkörper
PG	Partikelgröße
HMF	kreuzverzahnte Hartmetallfräse
W12	12schneidiger Finierer
W32	32schneidiger Finierer
W12/32	nacheinander 12schneidiger, 32schneidiger Finierer
grü D	grüner Diamant (Ø Korngröße 125 µm)
ro D	roter Diamant (Ø Korngröße 30 µm)
gel D	gelber Diamant (Ø Korngröße 15 µm)
wei D	weißer Diamant (Ø Korngröße 8 µm)
BR	3stufiges Scheiben-Poliersystem der Gebrüder Brasseler
CM	Compomaster
DG	2stufiger Diagloss-Polierer
KP	3stufiger NTI Kunststoffpolierer
PS	5stufige Polierstraße
PT	Politip Polierer
SS	4stufige Super Snap Disks
Lsg.	Lösung

a	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Metal Coupler und Sculpture Opaker
b	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Metal Coupler und Targis Opaker
c	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Sculpture Opaker
d*	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Targis Opaker
e	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Metal Primer II und Sculpture Opaker
f	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Metal Primer II und Targis Opaker
g	Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heranium CE nach Metal Primer II und Gradia Opaker
A	Scherhaftfestigkeit von Sculpture nach Reparatur mit - Conquest Sculpture Bonding - Reparaturkomposit Sculpture
B	Scherhaftfestigkeit von Sculpture nach Reparatur mit - Dentacolor Bonding - Reparaturkomposit Sculpture
C	Scherhaftfestigkeit von Sculpture nach Reparatur mit - Dentacolor Bonding - Reparaturkomposit Gradia
D	Scherhaftfestigkeit von Sculpture nach Reparatur mit - Dentacolor Bonding - Reparaturkomposit Sinfony
E	Scherhaftfestigkeit von Estenia nach Reparatur mit - Den- tacolor Bonding- Reparaturkomposit Estenia
F	Scherhaftfestigkeit von Estenia nach Reparatur mit - Den- tacolor Bonding- Reparaturkomposit Gradia
G	Scherhaftfestigkeit von Estenia nach Reparatur mit - Den- tacolor Bonding- Reparaturkomposit Sinfony

[%lin]	Prozent lineare Schrumpfung
[Gew. %]	Gewichtsprozent
[Masse %]	Masseprozent
a.G.	auf Grund
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat
d	Tag
DIN	Deutsche Industrie Norm
EM	Edelmetall
EZ	elektrische Zahnbürste
ISO	International Organisation for Standardisation
mind.	mindestens
mW/cm ²	Milliwatt pro Quadratzentimeter
N	Newton
NEM	Nichtedelmetall
Ø	Durchmesser, Durchschnitt, durchschnittlich
PCDMA	Polycarbonat-Dimethacrylat
phys.	physikalisch
R _a	arithmetischer Mittenrauwert
R _t	maximale Rautiefe
R _z	gemittelte Rautiefe
TEGDMA	Triethylenglycol-Dimethacrylat
TLW	Temperatur-Last-Wechsel
UDMA	Urethan-Dimethacrylat
UTMA	Urethan-Trimethacrylat
v.a.	vor allem

Abb. 1: Komponenten eines Komposit-Kunststoffes (Kullmann, 1990)	5
Abb. 2: Aufbau hochmolekularer Dimethacrylate (nach Ludwig, 1997)	5
Abb. 3: Silanisierung der Füllstoff-Partikel	8
Abb. 4: 3-Punkt-Biegetest	20
Abb. 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Finger, 2000)	21
Abb. 6: Prüfkörperform zur Herstellung stabförmiger Proben	22
Abb. 7: Versuchsanordnung für den Druckversuch (Leps und Schmiedel, 1977)	23
Abb. 8: Prüfkörperform zur Herstellung zylinderförmiger Proben	24
Abb. 9: Prinzip der Härteprüfung nach VICKERS (Bargel, 2000)	25
Abb. 10: Versuchsanordnung der 3-Medien-Abrasionsmaschine (Willytec)	26
Abb. 11: Prinzip Druck-Scher-Versuch (in Anlehnung an Göbel und Welker, 2001)	29
Abb. 12: Versuchsaufbau bei der Reparaturfestigkeitsprüfung	33
Abb. 13: Versuchsaufbau zur Messung der Polymerisationsschrumpfung	37
Abb. 14: Arithmetischer Mittenrauwert R_a (Hommelwerke GmbH Firmenschrift, Rauheitsmessung)	44
Abb. 15: Gemittelte Rautiefe R_z (Gebhardt, 2001)	45
Abb. 16: Maximale Rautiefe R_t (Gebhardt, 2001)	45
Abb. 17: Prüfkörperform zur Herstellung zylinderförmiger Proben	46
Abb. 18: Prinzip des Tastschnittverfahrens mit Kufentaster (Jung und Borchers, 2000)	49
Abb. 19: Biegefestigkeit der Verblendkomposite in [MPa]	50
Abb. 20: Elastizitätsmodul der Verblendkomposite in [MPa]	51
Abb. 21: Druckfestigkeit der Verblendkomposite in [MPa]	52
Abb. 22: Vickers Härte [HV_{5-20}] der Verblendkomposite	53
Abb. 23: Abrasionsfestigkeit der Verblendkomposite im Vergleich zum Amalgam	54

Abb. 24: Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heraenium CE bei Verwendung unterschiedlicher organischer Verbundsysteme	55
Abb. 25: Scherhaftfestigkeit der Verblendkomposite auf NEM-Legierung Wirobond C Verbundsystem: Rocatec - Gradia Opaker	56
Abb. 26: Scherhaftfestigkeit von Sculpture und Estenia mit verschiedenen Bonding-Systemen und Reparaturkompositen als Maß für die Reparaturfestigkeit	57
Abb. 27: Scherhaftfestigkeit nach 25000 TLW von Sculpture und Estenia nach Reparatur mit Dentacolor Bonding und dem Sinfony als Maß für die Reparaturfähigkeit	58
Abb. 28: Estenia – REM-Aufnahme der Schlifffläche	59
Abb. 29: Gradia – REM-Aufnahme der Schlifffläche	59
Abb. 30: Sculpture – REM-Aufnahme der Schlifffläche	59
Abb. 31: Durchhärtungstiefe der Verblendkomposite in [mm] nach schrittweiser Belichtung in [s]	60
Abb. 32: Wasseraufnahme der Verblendkomposite bis zur Sättigung in [Masse%]	61
Abb. 33: Polymerisationsschrumpfung der Verblendkomposite in [%lin]	62
Abb. 34: Verfärbte Prüfkörper nach Lagerung in den unterschiedlichen Medien	63
Abb. 35: ΔE -Werte als Maß für den Verfärbungsgrad der Verblendkomposite nach Lagerung in färbenden Medien	63
Abb. 36: Ultraschallreinigung mittels VOCO UL 10 nach 4wöchiger Probenlagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für die Verfärbungsneigung	66
Abb. 37: Nadelstrahlreinigung (Verfahren B) der Verblendkomposite nach Lagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad	67
Abb. 38: Reinigung mittels Prothesenreiniger Kukident aktiv 3 nach Lagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad	68
Abb. 39: Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate sensation white nach 4wöchiger Probenlagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad	71

Abb. 40: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in [μm] nach Polymerisation unter Folie und nach Ausarbeitung mit verschiedenen Ausarbeitungsinstrumenten	75
Abb. 41: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in [μm] nach Ausarbeitung mittels kreuzverzahnter Hartmetallfräse	76
Abb. 42: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in [μm] nach Ausarbeitung mit 12schneidigem Finierer	77

Tab. 1: Klassifikation und Bezeichnung üblicher Dimethacrylate (nach Ludwig, 1997)	5
Tab. 2: Merkmale der Komposit-Typen (Welker, 1997; Pioch et al., 1998, Ernst, 2003)	9
Tab. 3: Auswahl gängiger anorganischer Verbundverfahren	12
Tab. 4: Übersicht - untersuchte Verblendkomposite	18
Tab. 5: Verwendete Lichtpolymerisationsgeräte	19
Tab. 6: Merkmale Antagonisten - und Probenträgerrad	27
Tab. 7: Aufbau der Heraenium CE – Verbundkörper	30
Tab. 8: Aufbau der auf Reparaturfestigkeit zu untersuchenden Verbundprobekörper	32
Tab. 9: Verwendete Ausarbeitungsinstrumente	47
Tab. 10: Verwendete Poliererinstrumente bzw. -systeme (H - Handstück, W - Winkelstück)	48
Tab. 11: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in $[\mu m]$ nach Reinigung verfärbter Kompositprüfkörper	73
Tab. 12: Biegefestigkeit [MPa]	108
Tab. 13: Elastizitätsmodul [MPa]	108
Tab. 14: Druckfestigkeit [MPa]	108
Tab. 15: Vickers Härte HV_{5-20}	109
Tab. 16: Abrasion in $[mm^2]$	109
Tab. 17: Scherhaftfestigkeit [MPa] von SC mit unterschiedlichen organ. Verbundsystemen	109
Tab. 18: Scherhaftfestigkeit [MPa] Verbundsystem: Rocatec - Gradia Opaker	109
Tab. 19: Reparaturfestigkeit [MPa] Sculpture und Estenia mit unterschiedlichen Bondingsystemen und Verblendkompositen	109
Tab. 20: Durchhärtungstiefe [mm]	110
Tab. 21: Wasseraufnahme bis zur Sättigung [Masse%]	110
Tab. 22: Polymerisationsschrumpfung [%lin]	110

Tab. 23a: ΔE -Werte nach 4wöchiger Lagerung in färbenden Medien und aqua dest.	111
Tab. 23b: Subjektive Einschätzung - Mittelwerte nach 4wöchiger Lagerung in färbenden Medien und aqua dest.	111
Tab. 23c: Verfärbungsgrad V als Maß für die exogene Verfärbung	111
Tab. 24: R_a [μm] nach verschiedenen Ausarbeitungsinstrumenten	111
Tab. 25: R_a [μm] Politur nach HMF	111
Tab. 26: R_a [μm] Politur nach W12	112
Tab. 27: R_a [μm] Politur nach ro D	112
Tab. 28: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger VOCO UL 10	112
Tab. 29: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger VOCO UL 10	112
Tab. 30: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger VOCO UL 10	112
Tab. 31: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger elma clean 35	112
Tab. 32: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger elma clean 35	113
Tab. 33: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger elma clean 35	113
Tab. 34: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und nach Reinigung mittels Ultraschall	113
Tab. 35: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A	114
Tab. 36: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A	115
Tab. 37: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A	115
Tab. 38: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B	115

Tab. 39: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B	115
Tab. 40: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B	115
Tab. 41: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und Nadelstrahlreinigung	116
Tab. 42: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs	117
Tab. 43: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs	117
Tab. 44: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs	117
Tab. 45: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß	117
Tab. 46: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß	118
Tab. 47: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß	118
Tab. 48: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix	118
Tab. 49: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix	118
Tab. 50: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix	118
Tab. 51: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent	119
Tab. 52: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent	119
Tab. 53: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent	119
Tab. 54: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3	119

Tab. 55: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3	119
Tab. 56: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3	120
Tab. 57: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv	120
Tab. 58: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv	120
Tab. 59: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv	120
Tab. 60: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und Reinigung mit Tablettenreinigungslösungen	120
Tab. 61: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste	122
Tab. 62: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste	122
Tab. 63: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste	122
Tab. 64: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white	123
Tab. 65: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white	123
Tab. 66: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white	123
Tab. 67: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute	123
Tab. 68: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute	123
Tab. 69: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute	124
Tab. 70: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic	124

Tab. 71: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic	124
Tab. 72: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic	124
Tab. 73: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan	124
Tab. 74: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan	125
Tab. 75: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan	125
Tab. 76: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol	125
Tab. 77: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol	125
Tab. 78: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol	125
Tab. 79: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und mechanische Reinigung – elektrische Zahnbürste und Reiniger	126
Tab. 80: Biegefestigkeit 1 d H ₂ O	128
Tab. 81: Biegefestigkeit 25000 TLW	128
Tab. 82: Biegefestigkeit 90 d H ₂ O	128
Tab. 83: Elastizitätsmodul 1 d H ₂ O	128
Tab. 84: Elastizitätsmodul 25000 TLW	128
Tab. 85: Elastizitätsmodul 90 d H ₂ O	128
Tab. 86: Druckfestigkeit 1 d H ₂ O	129
Tab. 87: Druckfestigkeit 25000 TLW	129
Tab. 88: Druckfestigkeit 90 d H ₂ O	129
Tab. 89: Vickers Härte HV ₅₋₂₀ 1 d H ₂ O	129
Tab. 90: Vickers Härte HV ₅₋₂₀ 25000 TLW	129

Tab. 91: Vickers Härte HV ₅₋₂₀ 90 d H ₂ O	129
Tab. 92: Scherhaftfestigkeit SC unterschiedliche Verbundsysteme	129
Tab. 93: Scherhaftfestigkeit SC Verbundsystem: Rocatec - Gradia Opaker	129
Tab. 94: Reparaturfestigkeit SC und ES unterschiedliche Bondingsysteme und Verblendkomposite, 1 d H ₂ O	130
Tab. 95: Reparaturfestigkeit SC und ES Dentacolor Bonding - SN, 25000 TLW	130
Tab. 96: Polymerisationsschrumpfung	130
Tab. 97: R _a auf SC nach Benutzung verschiedener Ausarbeitungsinstrumente	130
Tab. 98: R _a auf SC nach HMF und unterschiedlichen Poliersystemen	130
Tab. 99: R _a auf SC nach W12 und unterschiedlichen Poliersystemen	131
Tab. 100: R _a auf ES nach Benutzung verschiedener Ausarbeitungsinstrumente	131
Tab. 101: R _a auf ES nach HMF und unterschiedlichen Poliersystemen	131
Tab. 102: R _a auf ES nach W12 und unterschiedlichen Poliersystemen	131
Tab. 103: R _a nach Reinigung verfärbter Sculpture – Prüfkörper	131
Tab. 104: R _a nach Reinigung verfärbter Sinfony – Prüfkörper	132
Tab. 105: R _a nach Reinigung verfärbter Solidex – Prüfkörper	132
Tab. 106: R _a nach Reinigung verfärbter Solidex (neu) – Prüfkörper	133
Tab. 107: R _a nach Reinigung verfärbter Targis – Prüfkörper	133

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	3
2.1 Bedeutung der Verblendkomposite	3
2.2 Aufbau von Verblendkompositen	4
2.2.1 Basismaterial – organische Matrix	5
2.2.2 Anorganische Phase	7
2.2.3 Verbundphase	7
2.3 Klassifikation	8
2.4 Aushärtemechanismus	10
2.5 Metall-Kunststoff-Verbund	11
2.5.1 Anorganische Verbundverfahren	12
2.5.2 Organische Verbundverfahren	13
3. Aufgabenstellung	14
4. Material und Methode	15
4.1 Untersuchte Werkstoffe	15
4.1.1 Neu entwickelte Verblendkomposite	15
4.1.2 Referenzmaterialien	16
4.2 Verwendete Lichtpolymerisationsgeräte	19
4.3 Untersuchte Werkstoffeigenschaften	19
4.3.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul	19
4.3.1.1 Biegefestigkeit	19
4.3.1.2 Elastizitätsmodul	21
4.3.2 Druckfestigkeit	23
4.3.3 Mikrohärte	24
4.3.4 Abrasionsfestigkeit	25
4.3.5 Scherhaftfestigkeit	29
4.3.6 Reparaturfestigkeit	31
4.3.7 Gefügefehler	33
4.3.8 Durchhärtungstiefe	34
4.3.9 Wasseraufnahme	35

4.3.10 Polymerisationsschrumpfung	36
4.3.11 Exogene Verfärbungsneigung	37
4.3.12 Entfärbungs- und Reinigungsmöglichkeit nach Lagerung in färbenden Medien	39
4.3.13 Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung und Politur	43
4.4 Mathematische Auswertung der Messergebnisse	49
5. Ergebnisse	50
5.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul	50
5.1.1 Biegefestigkeit	50
5.1.2 Elastizitätsmodul	51
5.2 Druckfestigkeit	52
5.3 Mikrohärte	53
5.4 Abrasionsfestigkeit	54
5.5 Scherhaftfestigkeit	55
5.6 Reparaturfestigkeit	57
5.7 Gefügefehler	58
5.8 Durchhärtungstiefe	60
5.9 Wasseraufnahme	61
5.10 Polymerisationsschrumpfung	62
5.11 Exogene Verfärbungsneigung	63
5.12 Entfärbungs- und Reinigungsmöglichkeit nach Lagerung in färbenden Medien	65
5.12.1 Reinigung mittels Ultraschallreinigern	65
5.12.2 Nadelstrahlreinigung	67
5.12.3 Tablettenreinigungslösungen	68
5.12.4 Mechanische Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Reinigern	70
5.12.5 Bestimmung des arithmetischen Mittenrauwertes R_a als Maß für die Oberflächenrauigkeit nach Prüfkörperreinigung	72
5.13 Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung und Politur	75

6. Diskussion	80
6.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul	80
6.1.1 Biegefestigkeit	80
6.1.2 Elastizitätsmodul	81
6.2 Druckfestigkeit	82
6.3 Mikrohärte	83
6.4 Abrasionsfestigkeit	83
6.4.1 Nahrungsmittelassoziierte Kontaktabrasion	83
6.4.2 Bürstenabrasion	85
6.5 Scherhaftfestigkeit	87
6.6 Reparaturfestigkeit	88
6.7 Gefügefehler und Farbverschiebung	89
6.8 Durchhärtungstiefe	90
6.9 Wasseraufnahme	90
6.10 Polymerisationsschrumpfung	91
6.11 Exogene Verfärbungsneigung, Oberflächenrauigkeit und Reinigung	91
6.11.1 Exogene Verfärbungsneigung	91
6.11.2 Reinigung	93
6.12 Oberflächenqualität nach Ausarbeitung und Politur	95
7. Schlussfolgerungen	97
8. Literaturverzeichnis	101
9. Anhang	108
Ergebnistabellen	108
Signifikanzprüfung	128
Danksagung	134
Lebenslauf	135
Ehrenwörtliche Erklärung	136

1. Zusammenfassung

Mit Weiterentwicklung und Verbesserung der derzeit v.a. in der Kombinationsprothetik eingesetzten Verblendkomposite steht heute eine Vielzahl von Produkten zur Verfügung. Da gute Werkstoffeigenschaften den klinischen Langzeiterfolg von Kompositen entscheidend bestimmen, ist eine aktuelle vergleichende werkstoffkundliche Analyse notwendig, um geeignete Materialien von weniger geeigneten abzugrenzen.

In der Arbeit wurden neuentwickelte und etablierte Produkte hinsichtlich ihrer physiko-mechanischen Eigenschaften, ihrem Gefüge und ihrer Bearbeitbarkeit, sowie ihrer Farbbeständigkeit und Hygienisierbarkeit experimentell vergleichend untersucht. Aus den Ergebnissen wurden Empfehlungen für die Praxis abgeleitet.

Drei Neuentwicklungen – Estenia (Kuraray), Gradia (GC) und Sculpture (Jeneric/Pentron) – sowie fünf marktgängige Verblendkomposite – Artglass (Heraeus Kulzer), Signum (Heraeus Kulzer), Sinfony (3M ESPE), Solidex (Shofu) und Targis (Ivoclar Vivadent) wurden bezüglich ihrer Materialeigenschaften geprüft. Bei den lichthärtenden Einkomponentenmaterialien handelt es sich mit Ausnahme des Mikrofüllerkomposits Signum um Feinstpartikelhybridkomposite. Sie besitzen, Sinfony und Solidex ausgenommen, einen hohen anorganischen Füllstoffgehalt. Die neuen Verblendkunststoffe Estenia und Sculpture sind zusätzlich gekennzeichnet durch eine Modifizierung der organischen Matrix bei Sculpture und einen besonders hohen anorganischen Füllstoffgehalt bei Estenia.

Zur Charakterisierung der Materialeigenschaften wurden neben den Festigkeitsparametern Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul, Druckfestigkeit, Vickers-Härte, Abrasionsfestigkeit, Verbundfestigkeit und Reparaturfestigkeit auch REM-Aufnahmen zur Gefügeanalyse angefertigt und Werte über Durchhärtungstiefe, Wasseraufnahme, Polymerisationsschrumpfung und Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung bzw. Politur ermittelt. Zudem wurden die exogene Verfärbungsneigung sowie die Entfärbungs- bzw. Reinigungsmöglichkeit der Verblendkomposite untersucht.

Die neuen Verblendkomposite Estenia und Sculpture weisen gegenüber Gradia und den Referenzmaterialien zum Teil deutlich höhere mechanische Festigkeitswerte einschließlich Verschleißfestigkeit und Haftfestigkeit an Metall auf. In seinem Abrasionswiderstand ist Sculpture dem Vergleichswerkstoff Non-Gamma-2-Amalgam Safe-cap Silber 70 (DMG) ebenwürdig, Estenia zeigt nur die Hälfte an Substanzverlust.

Ein feinporiges Gefüge wird nur bei Gradia beobachtet, welches gleichzeitig die größte Wasseraufnahme aufweist. Die mit Abstand niedrigste Wasseraufnahme bei kleinster Polymerisationsschrumpfung findet sich bei Estenia. Eine vollständige Durchhärtung ist nach mindestens 20sekündiger Belichtungszeit bei einer maximalen Schichtstärke von 2,5 mm für alle untersuchten Materialien gegeben. Unter Verwendung gängiger und moderner Polierwerkzeuge ist eine Hochglanzpolitur mit mittleren arithmetischen Mittenrauwerten von $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ auch auf den Neuentwicklungen Estenia und Sculpture möglich. Hinsichtlich der erzeugenden Oberflächenrauigkeit bestehen produktspezifische Unterschiede zwischen den Polierwerkzeugen. Nach Lagerung in verschiedenen färbenden Medien zeigen Artglass, sowie die modernen Produkte Sculpture und Estenia gegenüber den übrigen Materialien eine geringfügig stärkere exogene Verfärbung. Eine Entfärbung hochgefüllter und abrasionsfester Feinstkornhybridkomposite mit handelsüblichen Dentalreinigern bzw. Reinigungsverfahren ist unter meist geringgradiger Oberflächenverschlechterung jedoch möglich. Die mechanische Reinigung mittels Zahnbürste und hypoabrasiver Zahnpasta in Verbindung mit unterstützender Tabletten-Tauchbadreinigung ist effektiv.

Die Erwartungen, welche hinsichtlich verbesserter Materialeigenschaften in die Neuentwicklungen gesetzt wurden, können nur für Estenia und Sculpture bestätigt werden. Gradia zeigt den Referenzmaterialien entsprechende, zum Teil sogar etwas schlechtere mechanisch-physikalische Werkstoffeigenschaften.

Die modernen Komposite Estenia und Sculpture sind nach der In vitro - Testung für die Verblendung von festsitzendem Zahnersatz in Front- und Seitenzahngebiet vergleichsweise am besten geeignet. Allerdings sollte eine Bestätigung dieser Aussage durch klinische Langzeituntersuchungen erfolgen.

2. Einleitung

2.1. Bedeutung der Verblendkomposite

Die Inkorporation von feststehendem bzw. herausnehmbarem Zahnersatz zur Wiederherstellung von Funktion, Ästhetik und Phonetik ist nach wie vor ein fester Bestandteil der modernen Zahnheilkunde. Die verwendeten Werkstoffe sollten sowohl in ihren mechano-physikalischen Eigenschaften, als auch in ihrem Aussehen der zu ersetzenden natürlichen Zahnhartsubstanz entsprechen. Leider erfüllt diese Forderungen nach heutigem Erkenntnisstand keines der Materialien in vollem Umfang (Kamann, 2002).

Während die Gerüstgestaltung, vor allem die des herausnehmbaren Ersatzes, bisher den verschiedenen Metalllegierungen vorbehalten ist, steht zur zahnfarbenen Verblendung bzw. zur metallfreien Kronen- und Brückenversorgung neben den Dentalkeramiken auch eine breite Palette von Verblendkompositen zur Verfügung (Schulze et al., 2003).

Der einfachen und verhältnismäßig schnellen Verarbeitung dieser Lichtpolymerisate standen in der Vergangenheit jedoch ein zu geringer Abrasionswiderstand, Randspaltbildung- und Verfärbung, Frakturen sowie erhöhte Plaqueakkumulation und exogene Verfärbung auf Grund der Oberflächenverschlechterung während der Gebrauchsperiode gegenüber (Frenzel und Viohl, 1994; Setz und Engel, 1994; Ludwig, 1997; Janda, 2000b; Rzanny et al. 2003a). Diese Nachteile führten zu einer ständigen Weiterentwicklung und zu einer Qualitätssteigerung dieser Materialgruppe und der dazugehörigen Verbundsysteme. Bisher ist die Lebensdauer einer Kunststoffverblendung unter der komplexen Belastung in vivo, v.a. bedingt durch exogene Verfärbungen, laut Literaturangaben auf einen Zeitraum von maximal 8 bis 10 Jahren begrenzt. Bei sonst uneingeschränkt guter Pass- und Funktionstüchtigkeit kann vor allem bei herausnehmbarem Zahnersatz alternativ zu einer Neuanfertigung eine Reparatur oder Erneuerung der Kompositverblendung vorgenommen werden (Hofmann, 1974, 1980; Marxkors und Meiners, 1988; Springwald et al., 1989). Ermöglicht wird dies neben der Eigenschaftsoptimierung der Komposite durch die Entwicklung methodisch vereinfachter Legierungs-Kunststoff-Verbundsysteme, von denen einige intraoral angewendet werden können (Göbel und Musil, 1998; Göbel und Welker, 2000, 2001; Leithold, 2004; Rzanny et al. 2003a). Mit geringstem Arbeits- und Kos-

tenaufwand kann eine optimale Wiederherstellung erzielt werden (Wollwage, 1986; Janda, 2000b). Nachteilig ist jedoch die mögliche Entstehung reparaturbedingter Gefügeschwachpunkte (Leithold, 2004).

Auch im Hinblick auf die kürzlich durchgeführte Gesundheitsreform, deren vordergründiges Ziel eine Kosteneinsparung ist, bleibt zu prüfen, inwieweit sich der uneingeschränkte und bewährte Einsatz der Verblendkomposite in der Kombinationsprothetik auf andere Indikationsgebiete wie festsitzenden Zahnersatz übertragen lässt. Insofern hat eine experimentelle Standortbestimmung zur Kunststoffverblendung auch eine gesundheitspolitische Relevanz. Nach Marxkors und Meiners sind Kunststoffverblendungen zumindest bei abrasionsaktiven Gebissen (Bruxismus) durchaus angezeigt (Marxkors und Meiners, 1988). Vor allem im Seitenzahnggebiet, wo eine zahnfarbene Gestaltung von festsitzendem Ersatz bisher fast ausschließlich mittels Keramikmassen realisiert wurde, die Krankenkassen die Kosten für diese Art von Verblendung jetzt jedoch nur noch eingeschränkt übernehmen und somit die finanzielle Belastung für den Patienten wächst, gilt es, die Eigenschaften der Verblendkunststoffe hinsichtlich ihrer klinischen Brauchbarkeit aktuell zu bewerten. Denn nicht ohne Grund wird die Keramik als „das Material des zahntechnischen Adels“ bezeichnet (Wollwage, 1986).

Für den behandelnden Zahnarzt gilt es zu entscheiden, ob eine Kompositverblendung indiziert und unter Berücksichtigung von Zeit-, Material- und Kostenaufwand klinisch vertretbar oder gar nötig ist. Er bestimmt über die zu verwendenden Werkstoffe und ist für die Werkstoffwahl juristisch verantwortlich.

2.2 Aufbau von Verblendkompositen

Moderne Verblendkunststoffe setzen sich grundsätzlich aus einer organischen und einer anorganischen Phase zusammen, welche über multifunktionelle Haftvermittler miteinander verbunden sind (Abb. 1).

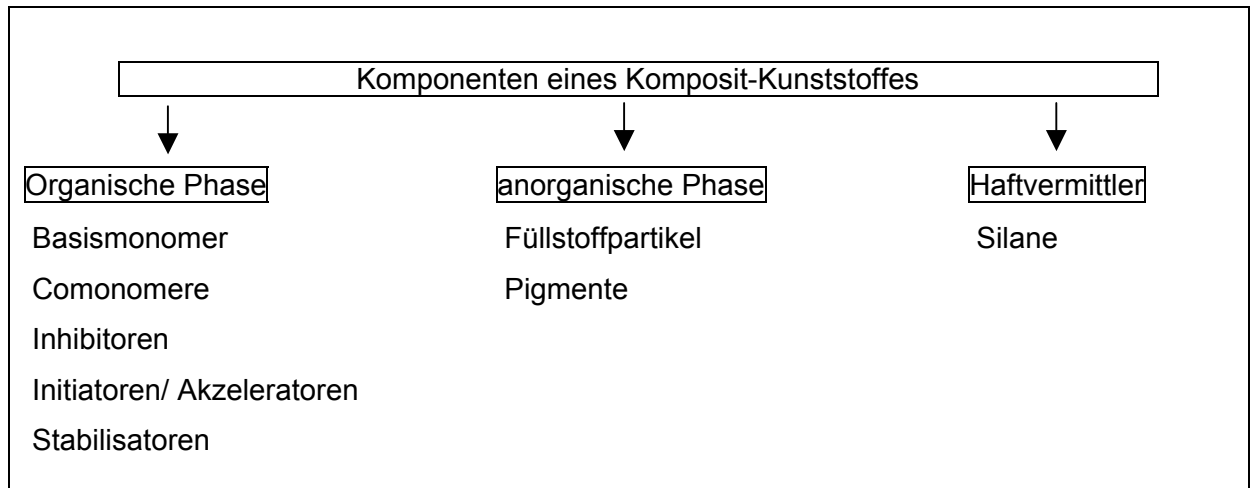


Abb. 1: Komponenten eines Komposit-Kunststoffes (Kullmann, 1990)

2.2.1 Basismaterial - organische Matrix

Hauptbestandteil der organischen Matrix ist das Basismonomer. Neben Mono- und Trimethacrylaten kommen vor allem verschiedene hochmolekulare Dimethacrylate zum Einsatz (Abb. 2).

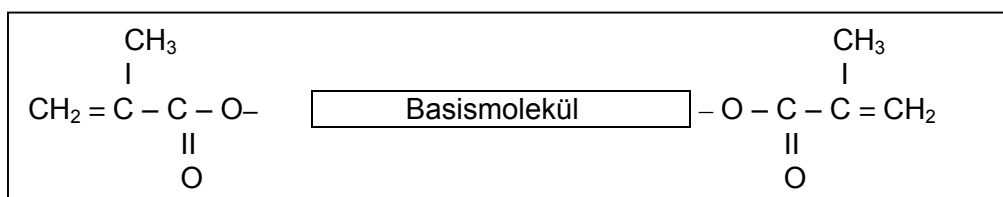


Abb. 2: Aufbau hochmolekularer Dimethacrylate (nach Ludwig, 1997)

Entsprechend der zwischen den zwei Methacrylatgruppen befindlichen Zwischenkette (Basismolekül) kann folgende Einteilung üblicher Dimethacrylate vorgenommen werden (Tab. 1):

Tab. 1: Klassifikation und Bezeichnung üblicher Dimethacrylate (nach Ludwig, 1997)

Chemische Gruppe	Basis- Monomer	Abkürzung
Aromatische Dimethacrylate (Epoxid)	Bisphenol-A-glycidylmethacrylat	Bis-GMA
Aliphatische Dimethacrylate	Triethylenglycol-Dimethacrylat	TEGDMA
Urethan	Urethan-Dimethacrylat	UDMA
Polycarbonat	Polycarbonat-Dimethacrylat	PCDMA

Während bisher die Weiterentwicklung und Verbesserung der anorganischen Füllstoffe sowie deren volumenmäßige Gehaltsteigerung im Vordergrund stand, ist man nun auch zur Modifizierung der organischen Matrix übergegangen. Gegenüber den bekannten Dimethacrylat-Monomeren: Bis-GMA, UDMA und TEGDMA stellen polycarbonatmodifizierte Dimethacrylate eine Neuerung dar. Im Anschluss an die Lichtpolymerisation, durch welche bereits erste Kristallkeime entstehen, wird in einem Temperprozess das Kristallwachstum induziert und somit der Kristallinitätsgrad erhöht, wodurch eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften erreicht werden soll (Bourrelly und Tzovas, 1994).

Der organischen Phase sind außerdem Comonomere, Inhibitoren, Initiatoren, Akzeleratoren und Stabilisatoren zugesetzt. Die als Verdünner fungierenden Comonomere senken die Viskosität der makromolekularen Basismonomere. Die Vernetzer führen zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften, z.B. zur Steigerung der Festigkeit und Senkung der Polymerisationsschrumpfung (Combe, 1984; Kullmann, 1990).

Um eine vorzeitige spontane Polymerisation zu verhindern sind Inhibitoren zugesetzt, die freie Radikale durch Übertragung eines Wasserstoffatoms inaktivieren. In der Regel handelt es sich dabei um Phenolderivate, wie z.B. Hydrochinonmethylether.

Initiatoren und Akzeleratoren sind über ein Redoxsystem in der Lage, freie Radikale zu bilden und den Polymerisationsvorgang gezielt auszulösen. Bei Autopolymerisationen handelt es sich dabei um eine chemische Reaktion zwischen einem Reduktions- und einem Oxidationsmittel. Lichthärtende Composite enthalten einen Photoinitiator, der bei Absorption von elektromagnetischer Strahlung einer bestimmten Wellenlänge die Polymerisation einleitet. Unter Punkt 2.4 - Aushärtemechanismen soll näher auf die Wirkweise des Initiator-Akzelerator-Systems eingegangen werden.

Um nach Polymerisationsabschluss eine Braunverfärbung von autopolymerisierenden Kompositmassen zu vermeiden sind UV-Stabilisatoren beigemischt, die den Zerfall von Reaktionsprodukten aus der Polymerisationsreaktion durch UV-Licht verhindern.

2.2.2 Anorganische Phase

Neben Füllstoffpartikeln unterschiedlicher Zusammensetzung, Gefügestruktur, Form und Größe sind der anorganischen dispersen Phase auch Pigmente zugesetzt. Durch einen hohen Füllstoffgehalt sollen nachteilige, matrixbedingte Eigenschaften, wie Polymerisationsschrumpfung, Quellung durch Wasseraufnahme und hoher Wärmeausdehnungskoeffizient minimiert, sowie die mechanischen Eigenschaften der Komposite optimiert werden. Bei den derzeit am Markt erhältlichen Komposit-Materialien beträgt der Anteil an Füllstoffen durchschnittlich 70-80 Gew.%. Die verwendeten Füllstoffpartikel entstehen durch Zerkleinern und Mahlen von kristallinem Siliciumdioxid (Quarz), unterschiedlichen Gläsern (Ba, Sr) und Silikaten (z.B. Al-, Ba-Al-B, Li-Al, Zr-), welche durch nasschemisches Ausfällen aus einem Sol oder durch Pyrolyse gewonnen werden. Zusammensetzung und Volumenanteil der Füllstoffe sind von Material zu Material verschieden (Kullmann, 1990; Pioch et al, 1998).

In den letzten zwanzig Jahren wurde innerhalb aller Füllstoffgruppen die durchschnittliche Partikelgröße enorm reduziert, wodurch der Füllstoffanteil gesteigert und die Werkstoffeigenschaften verbessert wurden. Auch das maschinelle Kneten der meist fest-pastösen Komposit-Anmischungen unter Vakuum führte durch die dadurch erzielte homogene Verteilung des Füllstoffgemisches und die Entfernung von Mikro-Lufteinschlüssen zu einer Optimierung der Werkstoffe (Ludwig, 1997; Pioch et al., 1998).

2.2.3 Verbundphase

Zur chemischen Einbindung der anorganischen Füllstoffe in die organische Matrix wird ein Haftvermittler benötigt, welcher über multifunktionelle Gruppen die Ankopplung beider Reaktionspartner aneinander ermöglicht. Dafür haben sich Silanhaftvermittler, meist 3-Methacryloxy-propyl-trimethoxy-Silan (MPTMS), bewährt. Es reagieren dabei die Alkoxy-Gruppen des Haftvermittlers mit den Silano-Gruppen an der Oberfläche der Füllstoffpartikel durch Veresterung. Methanol (CH_3OH) wird abgespalten und die ungesättigten Methacrylatgruppen copolymerisieren mit den Monomeren und Comonomeren (Abb. 3) (Kullmann, 1990).

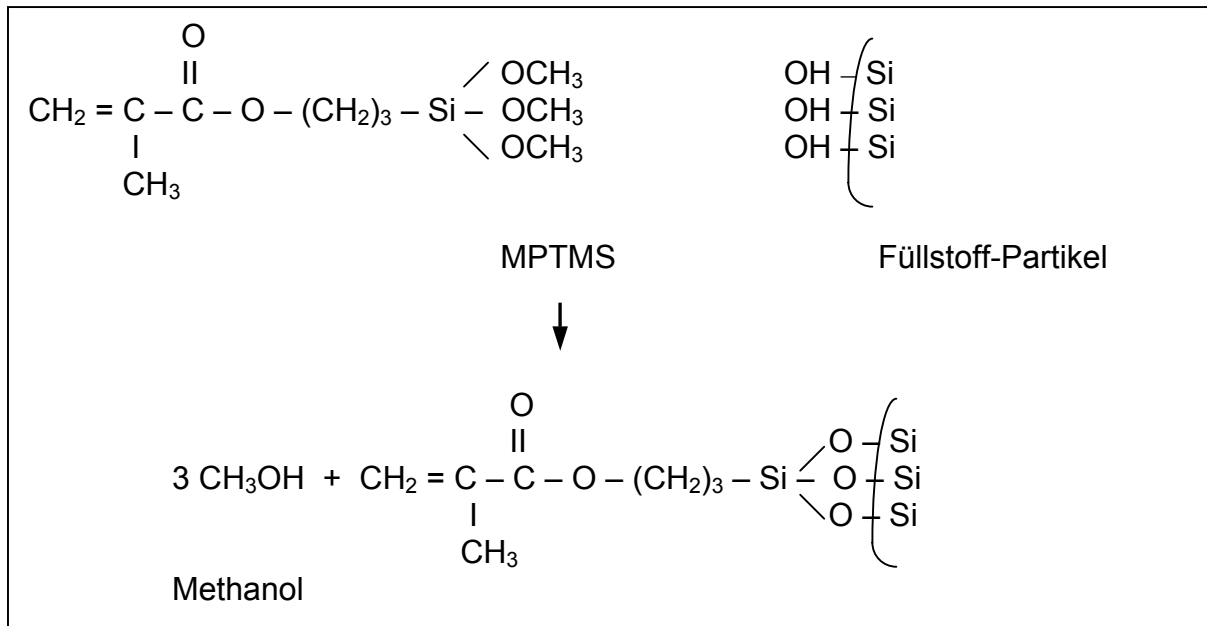


Abb. 3: Silanisierung der Füllstoff-Partikel

2.3 Klassifikation

Nach der 1981 von Lutz et al. aufgestellten füllstofforientierten Klassifikation der Kompositkunststoffe (Lutz et al., 1981) werden folgende Komposit-Typen unterschieden:

- Konventionelle Komposite
- Homogene Mikrofüllerkomposite
- Inhomogene Mikrofüllerkomposite
- Hybridkomposite.

Nach neuesten Entwicklungen stehen des weiteren hochgefüllte Mikrofüllerkomposite, sog. Nanofüllerkomposite, zur Verfügung, welche eine Sonderstellung zwischen Mikrofüller- und Hybridkompositen einnehmen (Ernst, 2003).

Wesentliches Differenzierungsmerkmal der verschiedenen Komposit-Typen ist neben der Zusammensetzung und Füllstoffmenge vor allem die Partikelgröße (PG) der enthaltenen Füllstoffe. Die Werkstoffeigenschaften leiten sich entsprechend ab (Tab. 2).

Tab. 2: Merkmale der Komposit-Typen (Welker, 1997; Pioch et al.,1998, Ernst, 2003)
(n.a. = nicht ausgewiesen)

Komposit-Typen	Konventionelle Komposite	Homogene Mikrofüller-Komposite	Inhomogene Mikrofüller-Komposite	Nanofüller-komposite	Hybrid-Komposite
Füllstoff-Art	Makrofüller	Mikrofüller	Mikrofüller und Mikrofüllerkomplexe (Vorpolymerisat)	freie nicht agglomerierte Mikrofüller	Mikrofüller und Makrofüller (sog. Mini- und Midi-füllstoffe)
Ø Partikelgröße [µm]	1 – 5	0,04 – 0,1	0,04 – 0,1 und 1 - 100	0,02 (= 20 nm)	0,04 – 0,1 und 1 – 5 bzw. 0,1 – 1
Vorteile	↑mechanische Festigkeit, Röntgenopazität	polierbar, ↑Abriebwiderstand	polierbar, ↓Verschleiß, ↑Eigenelastizität, ↑mechanische Eigenschaften	sehr gute Polierbarkeit	polierbar, ↑mechanische Eigenschaften
Nachteile	stark abrasiv, nicht polierbar, Plaqueanlagerung, Verfärbungstendenz,	↓Füllstoffgehalt, schlechtere Werkstoffeigenschaften, keine Röntgenopazität, ↑Schrumpfung, ↓mechanische Belastbarkeit	↓Füllstoffgehalt, keine Röntgenopazität	n.a.	Oberflächenverschlechterung während Gebrauchspe-riode

In Hybrid-Kompositen ist eine Kombination aus Mikro- und Makrofüllern enthalten, so dass eine weitere Differenzierung nach der durchschnittlichen Makrofüller-Teilchengröße sinnvoll ist (Weber Th, 1999; Ernst, 2003):

- Grobpartikel-Hybrid-Komposite (Ø PG > 5 µm < 10 µm)
- Feinpartikel-Hybrid-Komposite (Ø PG < 5 µm)
- Feinstpartikel-Hybrid-Komposite (Ø PG < 3 µm)
- Submikrometer-Hybrid-Komposite (Ø PG < 1 µm).

Auf Grund ihrer guten Werkstoffeigenschaften dominieren heute weitgehend Feinstpartikel-Hybrid-Komposite bzw. Submikrometer-Hybrid-Komposite.

2.4 Aushärtemechanismus

Grundlage der Polymerisation ist die Aufspaltung reaktionsfähiger Doppelbindungen der Dimethacrylat-Monomere und deren Verknüpfung zu einem Polymer. Nebenprodukte entstehen bei einer derartigen Reaktion nicht.

Da Initiatoren durch chemische und/oder physikalische Reaktion freie Radikale bilden können, kann gemäß ISO 4049 eine Unterteilung der Kunststoffe in autopolymerisierende, fotopolymerisierende und dualhärtende Kunststoffe vorgenommen werden.

Wegen arbeitsmethodischen Vorteilen dominieren heute für Verblendungen lichthärtende Komposite. Ihnen ist ein Fotoinitiator zugesetzt, welcher auf die Energie E des emittierenden Lichtes anspricht, solange Emissionsspektrum der Lichtquelle und Absorptionsspektrum des Initiators übereinstimmen. Entsprechend dem Planck'schen Wirkungsgesetz ist die Energie des ausgesandten Lichtes primär abhängig von seiner Frequenz f . Es gilt: $E = h \times f$ (h = PLANCK-Konstante), wobei sich die Frequenz aus dem Quotienten von Lichtgeschwindigkeit c zu Wellenlänge λ errechnen lässt. Wird nun ein Fotoinitiator mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt, so zerfällt er binnen kürzester Zeit in reaktive Moleküle, welche die Polymerisationsreaktion einleiten. Typischerweise handelt es sich um Campherchinon, dessen Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von 468 nm liegt. Durch Lichtpolymerisationsgeräte, vorrangig Halogenglühlampen mit entsprechendem Wellenlängenbereich, wird die Härtung gezielt vollzogen (Pilch und Guggenberger, 1990; Janda, 2000b).

Man verwendet heute Fotoinitiatoren, die auf eine im sichtbaren Spektralbereich liegende Wellenlänge zwischen 440 und 480 nm ansprechen. Somit kann auch durch Umgebungsstrahlung, wie Arbeitsleuchte und Deckenbeleuchtung, eine ungezielte Polymerisation eingeleitet werden. Die Verarbeitungszeit des lichthärtenden Materials ist demnach limitiert, jedoch bei Vermeidung direkter Bestrahlung während der Applikation großzügig eingestellt. Häufig wird angegeben, dass die relativ geringe Durchhärtungstiefe von $< 2,5$ mm zu berücksichtigen und eine schichtweise Applikation und Auspolymerisation erforderlich sei. Die eigenen Ergebnisse (S. 68) können dies nicht bestätigen. Die in Anwesenheit von Luftsauerstoff oberflächlich entstehende ca. 0,1 mm dicke, unpolymersierte Schmierschicht ermöglicht allerdings das Anpolymerisieren weiterer Schichten und dadurch den schichtweisen Aufbau einer Verblendung aus Farbvarianten des Komposits, wie beim natürlichen Zahn. Um abschließend eine schmierschichtfreie Kunststoffoberfläche zu erhalten, wird die Aus-

härtung der letzten Schicht unter Folie oder im Vakuum vorgenommen. Oftmals folgt eine sog. „Endvergütung“ mit Wärme und/oder intensiver Lichteinwirkung.

Die Darreichung als gebrauchsfertige, von Mikro-Lufteinschlüssen freie Einkomponenten-Paste ermöglicht eine saubere und zeitsparende Verarbeitung, sichert die Homogenität der Verblendung und schließt verarbeitungsbedingte Porositäten fast völlig aus (Kullmann, 1990; Pilch und Guggenberger, 1990; Ludwig, 1997).

2.5 Metall-Kunststoff-Verbund

Aufgrund ihres grundsätzlich verschiedenen chemischen Aufbaus verfügen Kunststoffe und Metalle über unterschiedliche Bindungsmechanismen: Kunststoffe - kovalente chemische Bindung, Metalle - Metallbindung. Eine direkte chemische Bindung zwischen beiden Materialien, welche für einen dauerhaften Verbund essentiell ist, ist demnach nicht möglich. In der Vergangenheit versuchte man die alleinige adhäsive (physikalische) Haftung von Verblendkunststoffen auf Dentallegierungen durch mechanische Verfahren zu verbessern. Dabei sollten sowohl positive und negative Makroretentionen, wie Perlen, Haken, Netze und Unterschnitte, als auch durch Korundstrahlen oder elektrolytische Ätzverfahren hervorgerufene Mikroretentionen zur Verankerung dienen. Keines der mechanischen Verankerungs-Verfahren konnte bzw. kann auf Dauer unter Mundmilieu-Bedingungen bestehen (Zanghellini und Voser, 1993a; Göbel und Musil, 1998; Göbel und Welker, 2000, 2001).

Zudem wirken die Polymerisationskontraktion der Komposits (1 bis 3 %lin) und ihre Quellung (ca. 1 bis 2 Masse-%), sowie das unterschiedliche thermische Ausdehnungsverhalten von Metall und Kunststoff [Legierung: $\alpha = (50-100) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$; Dental-kunststoffe: $\alpha = (10-20) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$] dem reinen mechanischen Verbund entgegen und führen „zu antiadhäsiv wirkenden mechanischen Spannungen an der Grenzfläche“ (Göbel und Welker, 2001). Die Grenzflächenspannung ist allerdings um so niedriger, je elastischer Kunststoff bzw. Opaker sind.

An durch Korundstrahlung aufgerauhten Legierungsoberflächen kommt es zur Oberflächenvergrößerung und zur Reduktion der Tangentialkräfte in der Grenzfläche. Aber erst durch die Entwicklung geeigneter Konditionierungsverfahren für die Metallseite konnte die chemische Ankopplung der Verblendkomposite erreicht werden. Dennoch ist bei allen Metall-Kunststoff-Verbundverfahren die Schaffung von Mikroretentionen durch Korundstrahlen der Legierungsoberfläche notwendig, weil sich die verschiedenen Haftkomponenten (adhäsiv-physikalisch, chemisch, mikroretentiv)

addieren. Grundsätzlich lassen sich anorganische und organische Verbundverfahren unterscheiden (Göbel und Musil, 1998; Göbel und Welker, 2000, 2001).

2.5.1 Anorganische Verbundverfahren

Der Verbund wird bei den anorganischen Verfahren durch das Aufbringen einer anorganischen Schicht auf die Legierungsoberfläche und einen nachfolgenden Haftvermittler erreicht, der über bifunktionelle Gruppen eine Verbindung zwischen anorganisch beschichteter Metalloberfläche und organischer Kunststoffmatrix herstellt. Als Haftvermittler fungieren zumeist Alkoxysilane (sog. Haftsilane). Man bezeichnet diesen Arbeitsschritt als Silanisierung. Das gängigste Verfahren der Oberflächenkonditionierung ist die Silikatisierung, bei der eine SiO_2 -Schicht auf die Metalloberfläche aufgebracht wird. Diese sehr dünne Glaskeramikschiicht ist neben einer relativ hohen Dichte an Hydroxylgruppen durch stabile Si-O-Si-Bindungen gekennzeichnet. In Tabelle 3 sind typische anorganische Verbundverfahren aufgeführt.

Tab. 3: Auswahl gängiger anorganischer Verbundverfahren

Verbundsystem/ Hersteller	Verfahren	Oberflächenkonditionierung
Silicoater Heraeus-Kulzer	Flammenhydrolyseverfahren	Silikatisierung: SiO_2 -Schicht mit 4 OH-Gruppen pro nm^2 und stabilen Si-O-Si-Bindungen
Silicoater MD/ Siloc-Verfahren Heraeus-Kulzer	Einbrennen von Silikatsolpartikeln	Silikatisierung
Rocatec 3M ESPE	Sandstrahlen mit SiO_2 ummantelten Korundstrahlen (Partikeldurchmesser 50 μm bzw. 100 μm)	Silikatisierung
OVS Dentsply De Trey	galvanische Verzinnung	Zinn-Elektrolyt getränkte Filzspitze (Anode) bestreicht das Metallgerüst (Kathode), Zinnionen werden auf Metalloberfläche reduziert, durch H_2O_2 zu Zinnoxid oxidiert

2.5.2 Organische Verbundverfahren

Bei diesen sog. Primer-Verfahren wird die chemische Anbindung des Verblendkomposites an die Legierungsoberfläche über einkomponentige organische Primer erreicht, welche durch ihre bifunktionellen Monomere den Verbund bewirken (Göbel und Welker, 2001).

Drei repräsentative, wegen ihrer einfachen Verarbeitung häufig angewendete Verfahren, seien hier näher erläutert.

- Targis Link (Ivoclar)

Dieser Primer enthält das bifunktionelle Monomer Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat (MDP). Die stark sauer reagierende Phosphorsäuregruppe schafft Me-O-P Bindungen zu den Metallatomen der Legierungsoberfläche. Die Methacrylatgruppe stellt die chemische Verbindung zum Kunststoff her. Zusätzlich sind hydrophobe Monomere enthalten, die den Wasserzutritt erschweren und zur Stabilität der Verbundschicht beitragen (Göbel und Welker, 2001).

- Metal Primer II (Ivoclar)

Hier werden zwei verschiedene bifunktionelle Monomere wirksam: ein Methacrylatphosphat, welches über die Phosphatgruppe an die Nichtedelmetallatome von NEM-Legierungen bzw. an die unedlen Bestandteile von EM-Legierungen (Ni-, Cr-, Co-, Mo-Oxid) bindet, und die schwefelorganische Verbindung Thiophencarbonsäure-methacryloyloxy-ester, die einen chemischen Verbund (Sulfid-Bindung) zu den Edelmetallatomen eingeht. Zur Anpolymerisation des Kunststoffes dient bei beiden Monomeren die Methacrylatgruppe (Göbel und Welker, 2001).

- Alloy Primer (Kuraray)

Der Alloy Primer enthält ebenfalls zwei unterschiedliche bifunktionelle Monomere: ein Methacrylat-Phosphat-Monomer und die schwefelorganische Verbindung Vinylbenzyl-propylamino-triazindithion (VBATDT). Der Verbund entsteht analog zu dem bei Metall Primer II (Göbel und Welker, 2001).

3. Aufgabenstellung

Mit der raschen Entwicklung und Erforschung der Verblendkunststoffe in den letzten Jahren und der Markteinführung neuer Produkte in immer kürzeren Zeitabständen geht das Versprechen der Anbieter einher, dass bisherige Mängel, wie mangelnde Verbundfestigkeit, geringe Abrasionsfestigkeit, starke Verfärbungsneigung und Plaqueakkumulation, beseitigt seien. Wenn dies zutrifft, was experimentell von neutraler industrieunabhängiger Stelle zu hinterfragen ist, könnten diese Komposite eine Alternative zur Keramik darstellen. Die Füllstoff- und Matrixmodifizierungen moderner Verblendkunststoffe lassen dies erwarten. Darüber hinaus sind die neuen Verbundsysteme zu prüfen, da die Grenzfläche zwischen Kunststoff und Legierung auf Grund der unterschiedlichen Bindungsmechanismen beider Werkstoffe eine mögliche Schwachstelle darstellt.

Mittels klinisch relevanter, experimenteller und anwendungsmethodischer Verfahren soll eine repräsentative Palette von bekannten und neu entwickelten Verblendkompositen vergleichend bewertet werden. Zur Charakterisierung der Materialeigenschaften werden neben mechanischen Festigkeitsprüfungen (Biege-, Druck-, Abrasions-, Verbund-Festigkeit; Vickers Härte; Elastizitätsmodul) Untersuchungen zur Prüfung von Gefüge, Durchhärtung, Polymerisationsschrumpfung und Wasseraufnahme durchgeführt. Außerdem sollen Bearbeitbarkeit und Polierbarkeit, exogene Verfärbungsneigung, sowie Entfärbungs- und Reinigungsmöglichkeit nach Lagerung in färbenden Medien untersucht werden. Inwieweit die Neuentwicklungen die propagierten Materialoptimierungen in Verbindung mit modernen Verbundverfahren erfüllen, gilt es am Ende der Untersuchungen zu bewerten.

4. Material und Methode

4.1 Untersuchte Werkstoffe

Es wurden ausschließlich Dentin-Pasten untersucht. Dazu liegen folgende Herstellerangaben vor:

4.1.1 Neu entwickelte Verblendkomposite

Estenia (Kuraray): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 00108C

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA, UTMA, Dimethacrylat

- Füllstoffanteil: 92 [Gew. %]

- Art der Füllstoffe: Glas, Gamma-Aluminium

Indikation: Jacketkronen, Verblendkronen bzw. -brücken, Inlays, Onlays

Aushärtung: im CS 100 - Gerät (Kuraray) 10 min belichtet, anschließend Tempern
15 min bei 110 °C

Reaktionstyp: Foto- und Thermopolymerisation

Gradia (GC): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 000225A

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA, Ethandiol-Dimethacrylat

- Füllstoffanteil: 75 [Gew. %]

- Art der Füllstoffe: keramische Füllstoffe

Indikation: indirekte restaurative Versorgungen im anterioren und posterioren Bereich

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet

Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Sculpture (Jeneric/Pentron): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 42130

Zusammensetzung: - organische Matrix: PCDMA, Dimethacrylate

- Füllstoffanteil: 78 [Gew. %]

- Art der Füllstoffe: Ba-Silikat-Glas

Indikation: metallfreie Kronen und Brücken mit FibreKor (Glasfaser) - Gerüsten

(Jeneric/Pentron), Verblendungen auf Kronen, Brücken und Kombinationsprothesen, Inlays, Onlays, Veneers, Implantatverblendungen

Aushärtung: im Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer) beidseitig 180 s belichtet,
anschließend 15 min bei 107 °C im Vakuum-Thermokristallisationsofen
Conquestomat (Jeneric/Pentron) vergütet
Reaktionstyp: Foto- und Thermopolymerisation

4.1.2 Referenzmaterialien

Artglass (Heraeus Kulzer): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 100

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA, Bis-GMA
- Füllstoffanteil: 70 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: Ba-Al-Silikat-Glas, SiO₂

Indikation: Verblendungen auf Kronen, Brücken und Kombinationsprothesen, Adhäsivbrücken, Inlays, Onlays, Veneers, Implantatverblendungen

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet

Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Signum (Heraeus Kulzer): Mikrofüllerkomposit Chargen-Nr.: 020022

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA, mehrfunktionelle Methacrylsäure-
ester
- Füllstoffanteil: 74 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: SiO₂

Indikation: einfache Verblendungen von Kronen, Brücken und herausnehmbaren
Zahnersatz

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet

Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Sinfony (3M ESPE): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 024

Zusammensetzung: - organische Matrix: aliphatische, cycloaliphatische Monomere
- Füllstoffanteil: 50 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: Sr-Al-Borosilikatglas, SiO₂

Indikation: Teil- und Vollverblendung von Kronen, Brücken und Kombinationsprothesen, Adhäsivbrücken, Veneers, Implantat-Suprakonstruktionen, Individualisierung von Prothesenzähnen und ESPE PROTEMP Langzeitprovisorien

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet
Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Solidex (Shofu): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 030120

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA
- Füllstoffanteil: 53 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: keramische Füllstoffe

Indikation: Verblendung von Kronen und Brücken

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet
Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Solidex (neu) (Shofu): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: A3B-324

Zusammensetzung: - organische Matrix: UDMA
- Füllstoffanteil: 53 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: keramische Füllstoffe

Indikation: Verblendung von Kronen und Brücken

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet
Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Targis (Ivoclar Vivadent): Feinstpartikel-Hybrid-Komposit Chargen-Nr.: 815451

Zusammensetzung: - organische Matrix: Bis-GMA, UDMA, Dimethacrylat
- Füllstoffanteil: 80 [Gew.%]
- Art der Füllstoffe: Ba-Glas, Mischoxid, SiO₂

Indikation: Verblendkronen und -brücken

Aushärtung: Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer), beidseitig 180 s belichtet, anschließend im Targis Power Lichtofen (Ivoclar Vivadent) Programm 1
(entspricht 25 min Belichtungszeit/Polymerisationszeit)

Reaktionstyp: Fotopolymerisation

Tabelle 4 fasst aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit alle untersuchten Verblendkunststoffe zusammen:

Tab. 4: Untersuchte Verblendkomposite im Überblick

Produkt (Code)	Firma	Org. Matrix	Füllstoffanteil [Gew.%] Füllstoffart	Reaktionstyp/ Aushärtemodus bei Prüfkörperherstellung
Artglass (AG)	Heraeus Kulzer	UDMA, Bis-GMA	70 Ba-Al-Silikat- Glas, SiO ₂	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Estenia (ES)	Kuraray	UDMA, UTMA, Dimethacrylat	92 Glas, Gamma- Aluminium	Foto- und Thermopolymerisation 10 min im CS 100 - Gerät einseitig belichtet, 15 min bei 110 °C getempert
Gradia (GR)	GC	UDMA, Ethandiol- Dimethacrylat	75 keramische Füllstoffe	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Sculpture (SC)	Jeneric/ Pentron	PCDMA, Dimethacrylate	78 Ba-Silikatglas	Foto- und Thermopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet, 15 min bei 107 °C im Conquestomat vergütet
Signum (SG)	Heraeus Kulzer	UDMA, mehr- funktionelle Methacrylsäureester	74 SiO ₂	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Sinfony (SN)	3M ESPE	aliphatische, cycloaliphatische Monomere	50 Sr-Al-Boro- silikatglas, SiO ₂	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Solidex (SO)	Shofu	UDMA	53 keramische Füllstoffe	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Solidex (neu) SO (neu)	Shofu	UDMA	53 keramische Füllstoffe	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet
Targis (TA)	Ivoclar Vivadent	Bis-GMA, UDMA, Dimethacrylate	80 Ba-Glas, SiO ₂ , Mischoxid	Fotopolymerisation beidseitig 180 s im Dentacolor XS - Gerät belichtet, anschließend Targis Power Lichtofen Programm 1 (25 min Belichtungszeit)

4.2. Verwendete Lichtpolymerisationsgeräte

Bei der Prüfkörperherstellung wurden unterschiedliche Lichtpolymerisationsgeräte (Tab. 5) eingesetzt. Nach Pioch et al. beträgt die Licht-Leistungsdichte geeigneter Polymerisationslampen mindestens 280-300 mW/cm² (Pioch et al., 1998).

Tab. 5: Verwendete Lichtpolymerisationsgeräte (n.a. = nicht ausgewiesen)

Polymerisationsgerät:	Hersteller:	Lichtleistung:	Wellenlängenbereich:
Dentacolor XS	Heraeus Kulzer	250 mW/cm ²	320-520 nm
Translux EC	Heraeus Kulzer	750 mW/cm ²	n.a.
CS 100	Kuraray	n.a.	n.a.
Targis Power Ofen	Ivoclar Vivadent	n.a.	n.a.
Heliolux DLX	Ivoclar Vivadent	600 mW/cm ²	400-500 nm

Von den aufgeführten Polymerisationsgeräten wurden das Translux EC - Gerät und das Heliolux DLX - Gerät zur In vivo - Lichthärtung konzipiert. Die übrigen Polymerisationsgeräte sind für die Kunststoffaufhärtung in der Zahntechnik vorgesehen.

Alle mittels zerlegbarer Prüfkörperformen hergestellten Prüfkörper wurden, soweit vom Hersteller keine Spezialgeräte vorgeschrieben werden, im Dentacolor XS - Gerät polymerisiert. Durch die gleichzeitige Belichtung des gesamten Prüfareals ergeben sich Vorteile gegenüber einer fraktionierten Bestrahlung, was die Streuung der Messreihen reduziert (Lenk-Mimietz, 1995; Rzanny und Welker, 1998; Michejew und Kunzelmann, 2003).

4.3 Untersuchte Werkstoffeigenschaften

4.3.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul

4.3.1.1 Biegefestigkeit

Wird ein Werkstoff einer ruhenden oder sich langsam und stoßfrei ändernden Belastung, welche kurzfristig oder langdauernd einwirken kann, ausgesetzt, so liegt eine statische Beanspruchung vor. Man unterscheidet nach Art und Richtung des Kraftangriffes zwischen Zug-, Druck-, Biege-, Torsions- und Scherbeanspruchung, welche einzeln oder auch kombiniert auftreten. Der Werkstoff setzt den bei zügiger Belastung nacheinander eintretenden elastischen und plastischen Formänderungen und dem nach Erschöpfung des Formänderungsvermögens erfolgenden Bruch einen in-

neren Widerstand entgegen, den man als Festigkeit bezeichnet (Riehle und Simmchen, 1997).

Die Biegefestigkeit δ_{bB} ist demnach der Kraftwiderstand eines Materials bei einer Biegebeanspruchung bis zum Bruch. Sie ist bei spröden Werkstoffen identisch mit der im Augenblick des Bruches einwirkenden Spannung ($\sigma = F / A$; F = Kraft; A = Fläche) (Lenk-Mimietz, 1995; Riehle und Simmchen, 1997).

Der 3-Punkt-Biegeversuch stellt nach DIN ISO 4049 ein genormtes Verfahren zur Bestimmung der Biegefestigkeit dentaler Werkstoffe dar. Dabei liegt eine stabförmige Probe auf 2 Stützen und wird in der Mitte durch eine Einzelkraft belastet (Abb. 4).

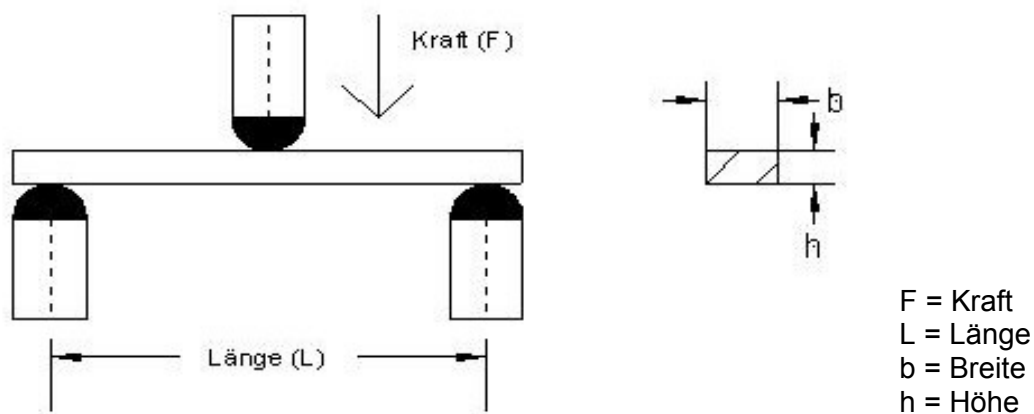


Abb. 4: 3-Punkt-Biegetest

Trägt man die im Verlauf des Versuches gleichzeitig erfassten Messwerte von Kraft und Durchbiegung in einem Koordinatensystem gegeneinander auf, so erhält man eine für jeden Werkstoff typische Spannungs-Durchbiegungs-Kurve. Sie ähnelt in ihrem Verlauf der Spannungs-Dehnungskurve im Zugversuch (Abb. 5) (Riehle und Simmchen, 1997).

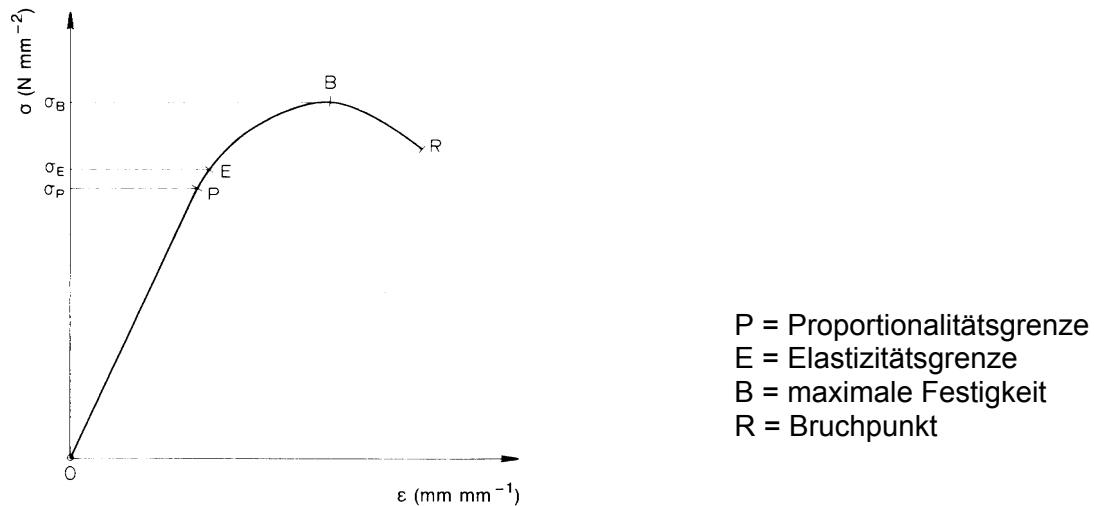


Abb. 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Finger, 2000)

4.3.1.2 Elastizitätsmodul

Im anfänglich linearen Kurvenverlauf besteht ein proportionaler Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung, es gilt das Hooke'sche Gesetz $\varepsilon = \alpha \times \sigma$ (Dehnung = Dehnzahl x Spannung). Hier verhält sich der Werkstoff rein elastisch, d.h. nach Aufhebung der Belastung kehrt er vollständig und verzögerungsfrei in seine ursprüngliche Form zurück. Aus dem Anstieg der Hooke'schen Gerade kann der Elastizitätsmodul als Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes bestimmt werden, $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ (Fischer et al., 1990; Riehle und Simmchen, 1997).

Die Prüfkörperherstellung und -lagerung für den 3-Punkt-Biegeversuch gestaltete sich wie folgt:

Unter Zuhilfenahme einer geteilten Messingform konnten 5 Prüfkörper mit den Abmaßen 15 mm x 5 mm x 2 mm gleichzeitig polymerisiert werden (Abb. 6). Die Verblendkomposite wurden jeweils mittels Füllspatel und zylinderförmigem Stopfer bzw. direkt mit einem Dispenser (Sinfony, 3M ESPE) in die geteilte Messingform eingebracht. Ober- und Unterseite der gefüllten Messingform wurden zur Vermeidung bzw. Reduzierung einer durch Luftsauerstoff induzierten Polymerisationsinhibitionschicht mit einer Klarsichtfolie abgedeckt. Nach Beseitigung der Pressfahnen und Glättung der Probenränder mit Schleifpapier der Körnung P220 wurden die Prüfkörper unterschiedlich gelagert. Eine Serie wurde für 1 Tag, eine Weitere für 90 Tage in aqua dest. bei 37 °C gelagert. Zusätzlich wurde eine Serie 25.000 Zyklen Tempera-

turlastwechsel (TLW) zwischen 5 und 55 °C temperierten destilliertem Wasser im Thermocycler V2.5 (Willytec) ausgesetzt. Die Verweildauer in den Temperierbädern betrug jeweils 15 s.

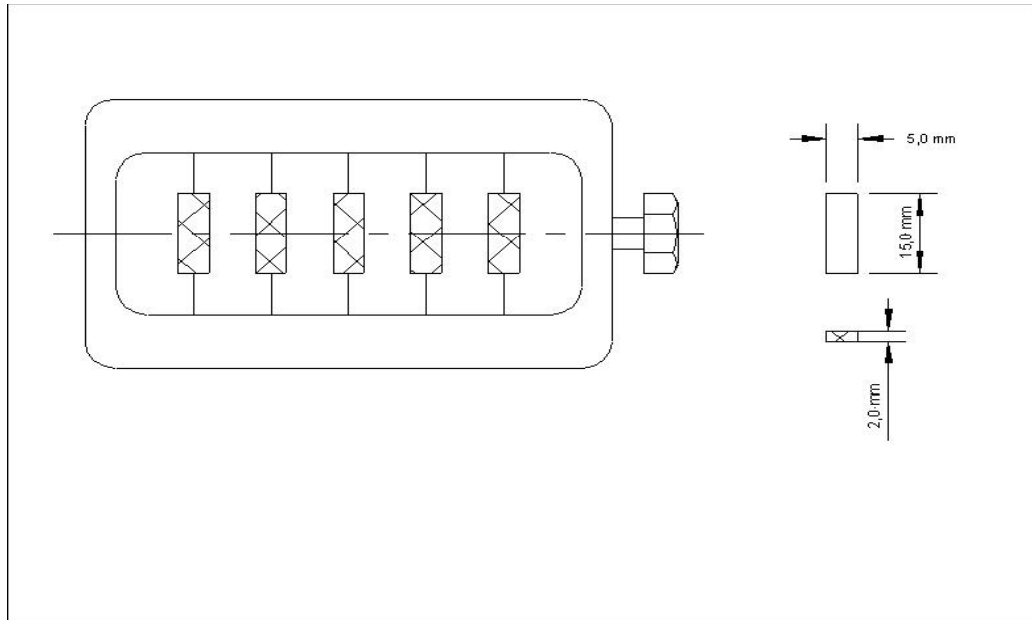


Abb. 6: Prüfkörperform zur Herstellung stabförmiger Proben

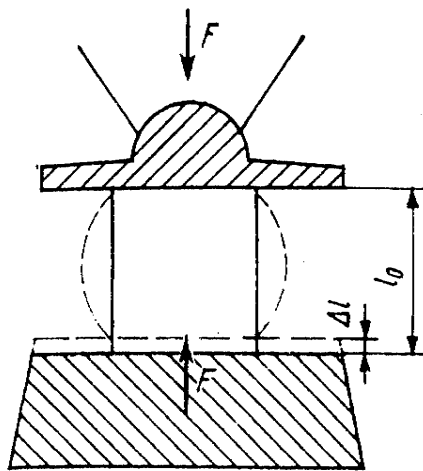
Die 3-Punkt-Biegeprüfung erfolgte mit der Universalprüfmaschine Zwick 1435 (Zwick). Die Prüfkörper wurden mit der Breitseite auf die Stützen gelegt (Stützweite $L_s = 12 \text{ mm}$). Die Probenmitte wurde mittels Druckstempel einer Vorkraft von 1 N und anschließend einer kontinuierlich steigenden Kraft bis zum Bruch ausgesetzt. Die Vorschubgeschwindigkeit betrug 1 mm/min. Sowohl die Dimensionierung der Prüfkörper, als auch der Abstand der Stützen wurden abweichend von der Norm 1435 reduziert, um materialsparend zu prüfen und die Fehlerquote bei der Prüfkörperherstellung zu senken (Rzanny und Welker, 1999a).

Nachdem die maximale Kraft F_{\max} beim Bruch der Prüfkörper gemessen war, konnte nach der Beziehung $\sigma = 3F_{\max} \times L_s / 2b \times h^2$ die Biegefestigkeit errechnet werden (b = Breite des Prüfkörpers = 5 mm; h = Höhe des Prüfkörpers = 2 mm). Der E-Modul wurde aus dem linearen Anstieg der Hooke'schen Geraden im Spannungs-Dehnungs-Diagramm nach der Beziehung $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ berechnet. Die Software der Prüfmaschine führte im Anschluss an die Messung die Berechnung der beiden Parameter Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul aus.

4.3.2 Druckfestigkeit

Der Druckversuch nach DIN 50106 (Abb. 7) ist eine weitere Methode zur Prüfung der Festigkeit eines Werkstoffes. Ein zylinderförmiger Probekörper wird mit seinen planparallelen Enden zwischen die Platten einer Prüfmaschine gelegt und einer langsam und stetig zunehmenden Druckbelastung bis zum Bruch oder Anriss ausgesetzt.

Die maximal erzielbare Druckspannung in der Werkstoffprobe wird als Druckfestigkeit bezeichnet. Sie errechnet sich aus der Maximalkraft F_{\max} und dem Probenquerschnitt S_0 nach der Formel: $\sigma_{dB} = F_{\max} / S_0$ (Fischer et al.; 1990a).



F = Druckkraft
 l_0 = ursprüngliche Länge
 Δl = Längenänderung

Abb. 7: Versuchsanordnung für den Druckversuch (Leps und Schmiedel, 1977)

Aus den zu untersuchenden Präparaten wurden unter Verwendung einer geteilten Teflonform (Abb. 8) zylinderförmige Prüfkörper mit einer Höhe von 8 mm und einem Durchmesser von 3 mm hergestellt. Das eingebrachte Komposit wurde an der Ober- und Unterseite mit einer Klarsichtfolie abgedeckt. Polymerisationsdauer und -geräte sind Tabelle 5 zu entnehmen. Nach Pressfahnenbeseitigung und Randglättung der Proben mit Schleifpapier der Körnung P220 wurden auch die Prüfkörper für diesen Werkstoffparameter unterschiedlichen Lagerbedingungen unterzogen. Die Serien wurden für 1 Tag bzw. 90 Tage in destilliertem Wasser bei 37°C gelagert. Eine Weitere wurde im Thermocycler V2.5 (Willytec) einem 25.000 Zyklen umfassenden Temperaturlastwechsel zwischen 5 und 55 °C ausgesetzt, wobei die Verweildauer in den Temperierbädern jeweils 15 s betrug.

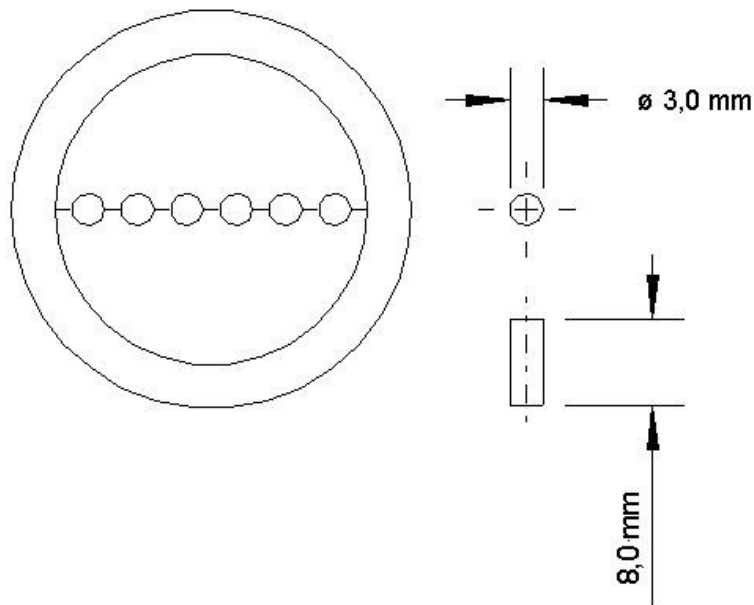


Abb. 8: Prüfkörperform zur Herstellung zylinderförmiger Proben

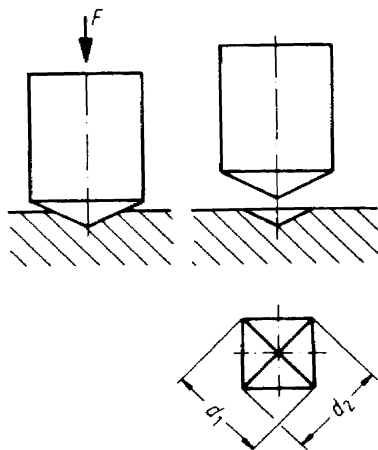
Auch der Druckversuch wurde an der Universalprüfmaschine Zwick 1435 (Zwick) mit einer Vorkraft von 1 N und einer Vorschubgeschwindigkeit 1 mm/min durchgeführt.

4.3.3 Mikrohärte

Härte ist der Widerstand eines Werkstoffes gegen das Eindringen eines anderen, härteren Körpers, wobei das Eindringvermögen sowohl von der Gestalt und Eigenhärte des anderen Körpers als auch von der Art und Größe der Belastung abhängig ist. Die statische Härteprüfung, bei welcher das Eindringen eines Körpers unter dynamischer Belastung erfolgt, gibt in erster Linie Auskunft über die statische Festigkeit und die Verschleißfestigkeit von Werkstoffen. Zur Bestimmung der Oberflächenhärte von Werkstoffen finden die statischen Härteprüfverfahren nach BRINELL, VICKERS und ROCKWELL Anwendung. Während die Verfahren nach BRINELL und VICKERS auf dem Prinzip der Messung der Eindruckfläche beruhen, bezieht sich ROCKWELL auf den Parameter Eindringtiefe (Riehle und Simmchen, 1997; Bargel, 2000).

Die Messung der Oberflächenhärte der zu untersuchenden Verblendkomposite erfolgte nach dem Härteprüfverfahren nach VICKERS. Dazu wurden aus Gründen der Kosten- und Materialersparnis Prüfkörperhälften aus der Biegeprüfung verwendet. An diesen unterschiedlich gelagerten Werkstoffproben wurde nach dem Zufallsprinzip entweder die Probenober- oder Unterseite gemessen.

Mit dem Härteprüfgerät Zwick 3212 (Zwick) wurde eine Diamantpyramide mit einem Flächenöffnungswinkel von $\alpha = 136^\circ$ für 20 s mit einer Prüfkraft von 49,03 N (50 kg) zentral auf die getrocknete Probenoberfläche gesenkt (Abb. 9). Die entstandenen Prüfeindrücke wurden mit einem Auflichtmikroskop mehrfach diagonal vermessen. Die entsprechenden Härtewerte HV_{5-20} konnten den Tabellen nach DIN ISO 409 entnommen werden (Riehle und Simmchen, 1997).



F = Prüfkraft
 d_1 = Eindruckdiagonale 1
 d_2 = Eindruckdiagonale 2

Abb. 9: Prinzip der Härteprüfung nach VICKERS (Bargel, 2000)

4.3.4 Abrasionsfestigkeit

Kennzeichnend für den abrasiven Verschleiß ist das Eindringen von Rauigkeitsspitzen des Gegenkörpers bzw. das Eindringen von Partikeln des Zwischenmediums in die Oberfläche des Grundkörpers bei gleichzeitiger Tangentialbewegung. Durch die geringe Größe der Kontaktstellen zwischen Abrasiv und Grundkörper und der damit verbundenen hohen Flächenpressung wird das Eindringen ermöglicht, in dessen Folge Kratzer, Riefen, Mulden und Wellen als typische Verschleißerscheinungsformen entstehen. Infolge wiederholter Beanspruchung kommt es zur Materialermüdung, d.h. das plastische Verformungsvermögen des Grundkörpers an seiner Oberfläche ist erschöpft. Ein Substanzverlust durch Materialabtrag ist die Folge. Die Festigkeit des Grundwerkstoffes und die Härte des Abrasivums beeinflussen das Ausmaß des Verschleißes bzw. des Materialabtrages entscheidend (Riehle und Simmchen, 1997).

Die Verschleiß- bzw. Abriebfestigkeit der Verblendkomposite wurde mit Hilfe der von De Gee entwickelten ACTA-Abrasionsmaschine (Willytec) (Abb. 10) ermittelt, welche

als internationaler Standard zur Simulation des Nahrungsabriebes (3-Medien-Abrasion) anerkannt ist (De Gee, 1986; Pallav et al., 1993; Bauer et al., 1995).

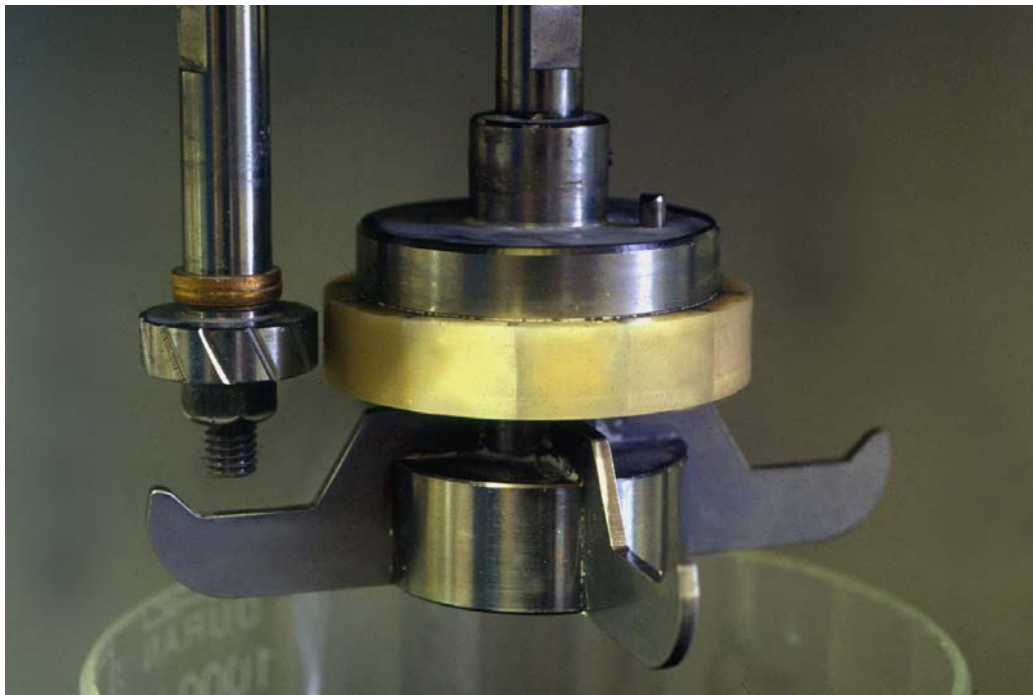


Abb. 10: Versuchsanordnung der 3-Medien-Abrasionsmaschine (Willytec)

Ein Probenträgerrad und ein Antagonistenrad rotieren angetrieben durch zwei separat ansteuerbare Elektromotoren in einem Abrasionsmedium gegenläufig, wobei das an einer beweglichen Achse befestigte Antagonistenrad durch eine Zugfeder an das an einer starren Achse befestigte Probenträgerrad gepresst wird (Bauer et al., 1995). Unter den gewählten Versuchsbedingungen wurde das Antagonistenrad (Abb. 10 links) mit einer Geschwindigkeit von 130 U/min und einer Anpresskraft von 20 N gegen das im Uhrzeigersinn mit 60 U/min gegenläufig rotierende Probenträgerrad (Abb. 10 rechts) gepresst. Demnach bewegen sich die berührenden Oberflächen gleichsinnig, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Der Tabelle 6 sind die Merkmale der entsprechenden Räder zu entnehmen.

Tab. 6: Merkmale Antagonisten- und Probenträgerrad

Merkmale	Antagonistenrad	Probenträgerrad
Material:	Edelstahl	Edelstahl
Durchmesser [mm]: Höhe [mm]:	20 6	47 10
Oberflächengestaltung:	12 diagonale Nuten, Winkel: 45°, Tiefe: 1 mm, Schräge: 30°	12 Vertiefungen zur Aufnahme der Probematerialien Länge: 10,8 mm, Breite: 10 mm, Tiefe: 2 mm, jeweils durch 1 mm breite und 2 mm hohe Metallstege getrennt

Zunächst wurden die Kammern von 5 Trägerrädern mit Al_2O_3 der Körnung 110 μm und einem Druck von 3 bar korundgestrahlt, um eine ausreichende Haftung zwischen Metall und Komposit zu gewähren. Die Verteilung der Werkstoffe in die Kammern erfolgte nach dem Zufallsprinzip, 6 Proben pro Präparat wurden gefertigt. Die fotopolymerisierenden Verbundkomposite wurden nacheinander schichtweise in die Träger radkammern appliziert, jede Schicht im Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer) für je 90 s ausgehärtet, wobei jeweils die letzte Schicht zur Vermeidung einer Sauerstoffinhibitionsschicht unter einer Klarsichtfolie polymerisiert wurde. Estenia, Sculpture und Targis wurden zusätzlich den vom Hersteller empfohlenen Vergütungsverfahren (siehe Tab. 4) unterzogen. Im Anschluss wurde eine freigelassene Kammer pro Trägerrad mit dem Referenzmaterial Safecap Silber 70 (Non-Gamma-2-Amalgam, Charge: 501475, DMG) gefüllt. Dazu wurden 6 Kapseln Safecap Silber 70 pro Kammer für 10 s im Capmix (3M ESPE) angemischt, sofort eingebracht und mit einem zylinderförmigen Stopfer kondensiert. Die so bestückten Probenträgerräder wurden trocken einen Tag bei ca. 21 °C Raumtemperatur gelagert. Da die so erhaltenen Probenträgerräder mit einem Durchmesser von 51 mm füllungsbedingt sowohl mit oberflächlichen Unebenheiten versehen, als auch unrund waren und zudem lückenlos mindestens 1 mm über das Niveau der Metallstege hinausragten, wurden sie vor Versuchsbeginn eingeschliffen. Anstelle des Antagonistenrades wurde ein Diamant schleifrad (Höhe = 16 mm, \varnothing = 20 mm) mit grober Körnung montiert und lief unter Wasserkühlung mit einer federnden Anpresskraft von 15 N gegen das Probenträger rad. Dabei drehten sowohl der linke Motor (140 U/min), als auch der rechte Motor (60 U/min) im Uhrzeigersinn, also in gleicher Richtung. Dadurch liefen die jeweiligen

Oberflächen gegensinnig. Anschließend wurde an Stelle des Probenträgerrades eine Justierscheibe ($\varnothing = 50 \text{ mm}$) montiert, die Achsenstellung der Räder zueinander fixiert und das Trägerrad erneut an der rechten Achse befestigt. Nach einem 1minütigen Feinschleifprozess am Probenträgerrad mittels fein gekörntem Diamantschleifrad (Höhe = 16 mm, $\varnothing = 20 \text{ mm}$), wobei beide Motoren gleichsinnig mit 130 U/min rotierten, waren die Trägerräder ($\varnothing = 50 \text{ mm}$) für den Abrasionsversuch vorbereitet. Wie Bauer et al. beschrieben, ist mit dem Einschleifprozess ein Materialabrieb von 0,3 - 0,5 mm verbunden (Bauer et al., 1995). Vor dem Versuch wurde das Abrasionsmedium hergestellt. Dazu wurde als weiches Abrasivum gelbe Hirse (BayWa), welche durch eine niedrigere Härte als das zu bearbeitende Material charakterisiert ist, in 3 gleichen Portionen zu 50 g je 5 s in einer Kaffeemühle gemahlen und mit 220 ml destilliertem Wasser vermengt. Um einer Keimbesiedelung entgegenzuwirken, wurde dem Medium eine Spur Thymol zugesetzt. Jedes Probenträgerrad wurde 200.000 Zyklen im Hirsemedium abradert, welches nach jeweils 50.000 Zyklen erneuert wurde. Im Anschluss an den Abrasions-Versuch wurde die im Probenträgerrad entstandene Abrasionsspur für jeden Werkstoff separat mit dem Oberflächenmessgerät Hommeltester T 8000 (Hommelwerke) abgetastet, wobei der Taster immer im ausreichenden Abstand vor der Abrasionsspur positioniert wurde, um diese in ihrer vollen Breite zu erfassen. Je Probe wurden 5 Messungen durchgeführt. Dabei bewegte sich ein Taster vom Typ TK 300 über eine Taststrecke von 8 mm mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm/s. Zur Glättung der Unebenheiten in der Abtastkurve diente ein im Messprogramm integrierter Filter vom Typ M1 DIN 4777. Unter Zuhilfenahme des T 8000- Messprogrammes konnte die Abrasionsspur geometrisch erfasst und visualisiert werden. Der Schnittflächen-Verlust A_s in mm^2 wurde nach manueller Festlegung des Abrasionsintervalles berechnet und für das Referenzmaterial Safecap Silber 70 gleich eins gesetzt ($A_{s\text{-Amalgam}} = 1$). Die Flächen der Verblendkomposite wurden dazu ins Verhältnis gesetzt (Bauer et al., 1995; Rzanny und Welker, 2003a; Bedienungsanleitung 3-Medien-Abrasionsmaschine Willytec).

4.3.5 Scherhaftfestigkeit

Der dauerhafte Halt einer Kompositverblendung am Metallgerüst wird im Wesentlichen durch die verwendete Legierung, das Verbund-System, den Opaker und durch die mechanischen Eigenschaften des Verblendkomposites bestimmt (Göbel und Welker, 2000, 2001, 2004).

Es wurden Verbundprüfkörper, wie nachfolgend beschrieben, hergestellt und einem Druck-Scher-Test (Abb. 11) unterzogen.

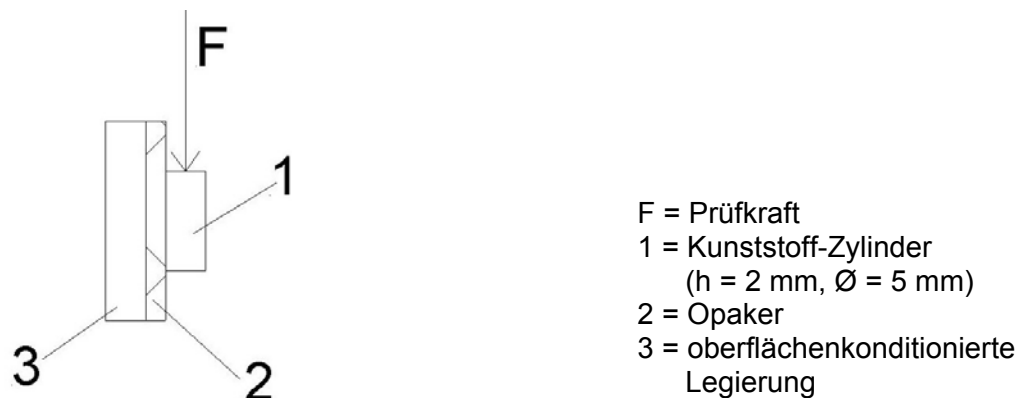


Abb. 11: Prinzip Druck-Scher-Versuch (in Anlehnung an Göbel und Welker, 2001)

Aus den Kobalt-Basis-Legierungen Heraenium CE (Heraeus Kulzer; Masse-%: 63,5 Co; 27,8 Cr; 6,5 Mo; 1,0 Si; 0,4 C; 0,6 Mn) und Wirobond C (Bego; Masse-%: 61,0 Co; 26,0 Cr; 0,5 Fe; 6,0 Mo; 5,0 W; 1,0 Si; 0,5 Ce) lagen Legierungsplättchen mit den Abmessungen 15 mm x 10 mm x 1 mm vor. Sie wurden mit Al_2O_3 der Körnung 110 μm bei 3 bar korundgestrahlt. Die Weiterbehandlung der Heraenium CE - Legierungsplättchen erfolgte in 7 Versuchsreihen, welche in Tabelle 7 aufgelistet sind.

Tab. 7: Aufbau der Heraenium CE - Verbundkörper

NEM-Legierung	Verbundsystem Charge; Firma	Opaker Charge; Firma
Heraenium CE	Conquest Sculpture Metal Coupler 750922; Jeneric/Pentron	Conquest Sculpture 39203; Jeneric/Pentron
Heraenium CE	Conquest Sculpture Metal Coupler 750922; Jeneric/Pentron	Targis D27737; Ivoclar Vivadent
Heraenium CE	Ø	Conquest Sculpture 39203; Jeneric/Pentron
Heraenium CE	Ø	Targis D27737; Ivoclar Vivadent
Heraenium CE	Metal Primer II 110772; GC	Conquest Sculpture 39203; Jeneric/Pentron
Heraenium CE	Metal Primer II 110772; GC	Targis D27737; Ivoclar Vivadent
Heraenium CE	Metal Primer II 110772; GC	Gradia 0006211; GC

Auf die korundgestrahlten Heraenium CE - Plättchen wurde unter Zuhilfenahme von Messingringen ($\varnothing = 5 \text{ mm}$, $h = 2 \text{ mm}$) je ein Kunststoffzylinder aus dem Verblendkomposit Sculpture (Jeneric/Pentron) modelliert, einseitig für 180 s im Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer) belichtet und nach Entfernung des Metallringes 15 min bei 107 °C im Conquestomat vergütet.

Die Wirobond C - Legierungsplättchen wurden einheitlich mit dem anorganischen Rocatec-Verfahren (3M ESPE) konditioniert. Im Anschluss erfolgte das Auftragen von Gradia Opaker (GC) entsprechend der Herstellerangaben und die Modellation eines Kunststoffzylinders mittels Messingring ($\varnothing = 5 \text{ mm}$, $h = 2 \text{ mm}$). Die Polymerisation der Verblendkomposite wurde einseitig für 180 s im Dentacolor XS - Gerät (Heraeus Kulzer) vorgenommen, soweit nicht ein nach Herstellerangaben anderer Aushärtemechanismus vorzunehmen war. Estenia, Sculpture und Targis wurden wie in Tabelle 4 beschrieben polymerisiert. Nach vollständiger Aushärtung wurden die Messingringe entfernt.

Alle Verbundprüfkörper wurden 24 Stunden in destilliertem Wasser bei 37 °C gelagert. Mindestens 5 Verbund-Körper je Material und Methode wurden hergestellt.

Die Druck-Scherprüfung wurde an der Universal-Prüfmaschine Zwick 1435 (Zwick) mit einer Prüfgeschwindigkeit von 1 mm/min durchgeführt.

4.3.6 Reparaturfestigkeit

In der Gebrauchsperiode einer Kompositverblendung können infolge übermäßiger mechanischer, thermischer oder chemischer Beanspruchung bzw. aus Gründen der Materialermüdung Randspalten, Frakturen und Verfärbungen entstehen. Die so entstandene schadhafte Kunststoffverblendung genügt dann weder den funktionellen, noch den ästhetischen Ansprüchen. Als Alternative zur Neuversorgung bietet sich eine Reparatur an (Frenzel und Viohl, 1994).

Zu berücksichtigen ist, dass die zu reparierende Kunststoffverblendung bereits vollständig polymerisiert ist, d.h. es stehen keine reaktiven Bindungsstellen zur Verfügung, welche eine Anpolymerisation des Reparaturkomposits in ausreichendem Maß gewährleisten könnten. Demnach muss die Reparaturfläche entsprechend vorbehandelt werden. Dazu gehört neben der Oberflächenaufrauung zur Schaffung von Mikroretentionen auch die Benetzung der entsprechenden Fläche mit einem Kunststoffhaftvermittler (Bonding = ungefüllter Kunststoff). Durch diese kombiniert mechanisch-chemische Konditionierungsmethode kann ein dauerhafter Verbund realisiert werden (Pilch und Guggenberger, 1990; Frenzel und Viohl, 1994; Schaller et al., 1995).

Zur Prüfung der Reparaturfestigkeit wurden in Anlehnung an Leithold die in Tabelle 8 aufgelisteten Arten von Verbundprüfkörpern gefertigt und im Druck-Scherversuch (Abb. 11) untersucht (Leithold, 2004).

Zunächst wurden aus den neu entwickelten Verblendkompositen Estenia und Sculpture nach Herstellerangaben, wie unter 4.3.12 beschrieben, Prüfkörper mit einem Durchmesser von 6 mm und einer Höhe 6 mm (Abb. 17) gefertigt. Jeder Prüfkörper wurde an seiner Oberseite mit Schleifpapier der Körnung P220 aufgerauht. Die verbliebenen Schleifpartikel wurden anschließend durch Druckluft beseitigt. Die Weiterbehandlung gliederte sich in 7 Versuchsserien (Tab. 8) mit je mindestens 6 Verbundkörpern. Auf den Kunststoffzylinder wurde mittels Messingring ($\varnothing = 5 \text{ mm}$, $h = 2 \text{ mm}$), Komposit aufgebracht und wie unter 4.3.5 beschrieben polymerisiert. Parallel dazu wurden jeweils drei Prüfkörper ohne zusätzliche Oberflächenbearbeitung, weitere drei nur mit Schleifpapier der Körnung P220 bearbeitet und mit einem Kunststoffzylinder des gleichen Materials versehen.

**Tab. 8: Aufbau der auf Reparaturfestigkeit zu untersuchenden Verbundprüfkörper,
* = zusätzlich 25000 TLW**

Verblendkomposit: Prüfkörper (Ø = 6 mm, h = 6 mm)	Kunststoffhaftvermittler: Opaker-Liquid (Bonding) Charge; Firma	Reparaturkomposit: Kunststoffzylinder (Ø = 5 mm, h = 2 mm)
Sculpture	Conquest Sculpture 39203; Jeneric/Pentron	Sculpture
Sculpture	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Sculpture
Sculpture	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Gradia
Sculpture *	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Sinfony
Estenia	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Estenia
Estenia	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Gradia
Estenia *	Dentacolor 010053; Heraeus Kulzer	Sinfony

Nach Polymerisation der kleinen Kunststoffzylinder wurden die Ringe entfernt und alle Verbundkörper für 24 Stunden in Wasser bei 37 °C gelagert. Die mit * gekennzeichneten Versuchsserien wurden außerdem im Thermocycler V2.5 (Willytec) einem 25000 Zyklen umfassenden Temperaturlastwechsel zwischen 5 und 55 °C ausgesetzt, wobei die Proben der betreffenden Temperatur jeweils 15 s ausgesetzt waren. Die Scherkraftmessung erfolgte mit der Universal-Prüfmaschine Zwick 1435 (Zwick) nach dem in Abbildung 12 aufgezeigten Versuchsaufbau. Die Vorschubgeschwindigkeit v des Druckstempels betrug 1 mm/min. Nach dem Abscherversuch wurde das Bruchmuster (adhäsiv oder kohäsiv) zunächst ohne optische Hilfsmittel, bei ausgewählten Proben dann unter dem Rasterelektronenmikroskop hinsichtlich der Verbundqualität analysiert.

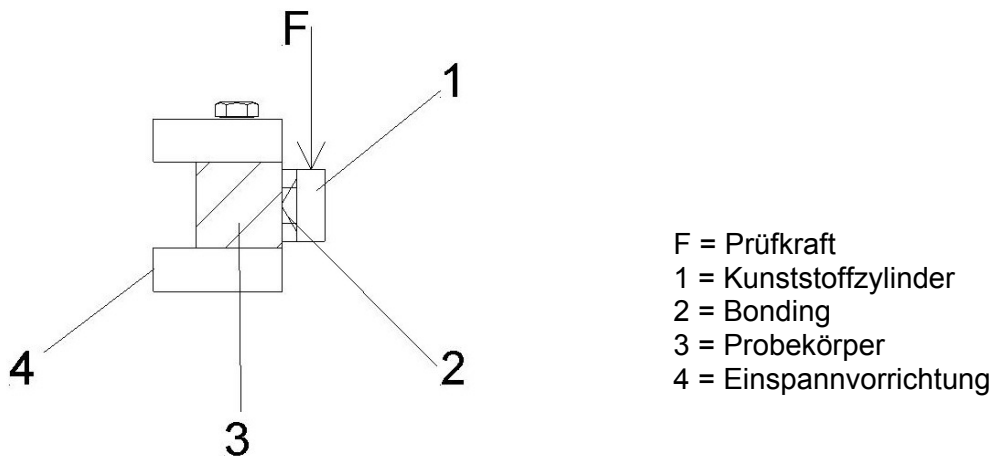


Abb. 12: Versuchsaufbau bei der Reparaturfestigkeitsprüfung

4.3.7 Gefügefehler

Die Größen Struktur und Gefüge kennzeichnen den Werkstoffaufbau. Unter Struktur versteht man die geometrische Anordnung der Bausteine (Atome, Ionen, Moleküle) in einem Volumenelement, wohingegen die räumliche Anordnung der Bestandteile (z.B. kristalline Bereiche, Füllstoffe) als Gefüge bezeichnet werden. „Jeder Gefügebestandteil weist in sich eine annähernd homogene Struktur auf und meist auch eine annähernd gleiche chemische Zusammensetzung.“ (Riehle und Simmchen, 1997).

Demnach ist das Gefüge eines Kompositmaterials bestimmt durch die Größe und Verteilung der anorganischen Füllstoffe in der organischen Matrix. Ist eine gleichmäßige Füllstoffverteilung vorherrschend, so liegt ein homogenes Gefüge vor. Füllstoffanhäufungen hingegen charakterisieren die Inhomogenität des Werkstoffes. Auch die chemische Anbindung der hydrophilen Füllstoffe an die hydrophoben Basismonomere der Matrix mittels Silanen ist für die Gesamtstruktur des Materials von wesentlicher Bedeutung. Unterbleibt die Einbindung der Füllstoffe in die Matrix bzw. wird sie nur in ungenügendem Maße vollzogen, kommt es zur Schwächung des Gefüges. Unter Mundmilieubedingungen bedeutet dies ein Herauslösen von Füllstoffen und die Entstehung von Poren bzw. Porositäten. Zudem können sowohl durch den Hersteller, als auch den Anwender Lufteinschlüsse unter Materialapplikation entstehen, welche das Gefüge auflockern. Dies führt zur Verschlechterung der physikalischen und biologischen Wertigkeit (Welker, 2000).

Um die neuen Verblendkomposite Estenia, Gradia und Sculpture auf das Vorhandensein von Gefügefehlern hin zu untersuchen, wurden Bruchhälften von Stäben der Biegeprüfung an ihrer Querschnittsfläche (5 mm x 2 mm) mit Schleifpapier bis zur

Körnung P600 beschliffen (Rzanny und Welker, 1999b). Schleifstaubrückstände wurden mit Druckluft beseitigt. Im Anschluss konnte der subjektiv-visuelle Vergleich der Werkstoffe unter dem Rasterelektronenmikroskop mit Dokumentation typischer Befunde vorgenommen werden. Ergänzend zu diesen Schliffproben, wurden extra Feinschliffe der genannten Präparate angefertigt. Dazu wurde je eine zylinderförmige Probe ($h = 6 \text{ mm}$, $\varnothing = 6 \text{ mm}$) und ein Prüfstab ($15 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$) in der Mitte geteilt und in dem nach Herstellerangaben angemischten Epoxidharz Spezi Fix-20 (Stuers) eingebettet. Nach Aushärtung des Harzes wurden die einzelnen Werkstoffproben unter Wasserkühlung in dem Gerät Dap-V (Stuers) beschliffen. Dabei wurden die Proben systematisch von grob nach fein bearbeitet, wobei Schleifpapier der Körnung P4000 die feinste Bearbeitungsstufe darstellte. Nach Schleifstaubbeseitigung mittels Druckluft, wurden auch diese maschinell geschliffenen Proben im Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert und ausgewertet.

4.3.8 Durchhärtungstiefe

Wie bereits beschrieben, ist lichthärtenden Materialien ein Fotoinitiator zugesetzt, welcher bei Bestrahlung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge freie Radikale bildet und die Polymerisationsreaktion auslöst. Eine vollständige Polymerisation kann nur gewährleistet werden, wenn das Licht auch tiefe Schichten des Materials erreicht. Verblendkomposite sind durch den Zusatz von verschiedenen Pigmenten und anderen eine Eigenfarbe besitzenden Partikeln mehr oder weniger opak und demzufolge nur begrenzt lichtdurchlässig. Die Polymerisationstiefe ist somit limitiert.

Um die Durchhärtungstiefe der Verblendkomposite zu bestimmen, wurden diese in eine geteilte Teflonform mit den Abmaßen $5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ appliziert und einseitig für jeweils 20, 40, 60, 80, 100 und 180 s mit dem Lichtpolymerisationsgerät Translux EC (Heraeus Kulzer) unter Folienabdeckung belichtet. Unmittelbar im Anschluss an die unterschiedlich andauernde Belichtung wurden die Prüfkörper aus der Teflonform entnommen. Mit einem Skalpell konnte nun der nicht polymerisierte Materialanteil von der durchgehärteten Schicht schabend entfernt werden (Kratztest). Daran schloss sich die Vermessung der polymerisierten Schicht mit einem Messschieber an drei unterschiedlichen Stellen des Prüfkörpers an. Für jeden Prüfkörper wurde die mittlere Durchhärtungstiefe errechnet. Da die Farbe der Fotopolymerisate einen entscheidenden Einfluss auf die Lichtdurchlässigkeit und somit auf die Durchhärttiefe hat, wurde mit Ausnahme der Präparate Artglass, Sculpture und Sinfony,

welche nur in der Vita-Farbe A2 verfügbar waren, einheitlich die Vita-Farbe A3 verwendet.

4.3.9 Wasseraufnahme

Durch umgebende Medien werden physikalische und chemische Prozesse in hochpolymeren Werkstoffen initiiert, deren Ursache in der thermodynamischen Instabilität der Werkstoffe begründet ist (Rufke, 1977).

Befindet sich nun ein hochpolymerer Werkstoff (z.B. Verblendkomposit) für längere Zeit in unmittelbarem Kontakt zu einem flüssigen Medium (z.B. Wasser), kommt es zunächst zur Anlagerung der Moleküle des einwirkenden Mediums an die Makromoleküle des Polymers. Diesem physikalischen Vorgang der Benetzung folgt die Diffusion der Fremdmoleküle in das Innere des Festkörpers. In der Folge kann es zur Quellung des hochpolymeren Werkstoffes kommen. Ist durch die Flüssigkeitseinlagerung eine völlige Zerstörung des Polymers zu verzeichnen, liegt eine unbegrenzte Quellung vor. Besteht eine starke Assoziation der Mediummoleküle untereinander wird diese jedoch verhindert, die Quellung also begrenzt. Grundsätzlich wird die Quellbarkeit bzw. Löslichkeit von der Werkstoffart und -struktur, den im Werkstoff wirkenden Zusammenhaltskräften sowie von der Art des einwirkenden Mediums und der im Medium wirkenden intermolekularen Kräfte bestimmt (Rufke, 1977; Schmiedel, 1992).

Übertragen auf die in der Zahnmedizin verwendeten Komposite bedeutet dies, dass die Wasseraufnahme von der Struktur bzw. dem chemischen Aufbau der Monomere und Polymere, dem Kristallinitäts- und Vernetzungsgrad der Matrix, sowie dem Gehalt an anorganischen Füllstoffen abhängig ist. Auch die Homogenität und Porenfreiheit des Materials sind von Bedeutung. Zudem gehört Wasser zu den stark assoziierenden Medien, was die Integration von Wassermolekülen ins Materialgefüge des Komposits limitiert (Viohl und Gerhard, 1975; Schmiedel, 1992; Janda, 2000a).

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass nach Abschluss der Polymerisation Monomere zurückbleiben, welche nicht an der Polyreaktion teilgenommen haben, sog. Restmonomere. Diese können aus der organischen Matrix herausgelöst und durch Wassermoleküle ersetzt werden. Eine Versprödung des Werkstoffes, sowie eine Transparenzminderung sind die Folge (Rufke, 1977; Hofmann, 1980).

Aus den beschriebenen Quellungs- und Lösungsvorgängen leiten sich sowohl Masse- als auch Maßänderungen der polymeren Werkstoffe ab.

Bei der vorliegenden Untersuchung der Verblendkomposite wurde nur die Massezunahme in [Gew. %] nach Wasserlagerung bis zur Sättigung registriert, ohne eventuelle Löslichkeitsverluste zu berücksichtigen.

Dazu wurden je Material 10 stabförmige Prüfkörper (15 mm x 5 mm x 2 mm) analog zu 4.3.1 gefertigt. Durch Wägung der trockenen Prüfkörper bei Raumtemperatur mittels der Waage BP 2105 (Satorius) konnte das Ausgangsgewicht jedes einzelnen Prüfkörpers bestimmt und für jedes Material der mittlere Trockenwert berechnet werden. Nachfolgend wurden alle gewogenen Prüfkörper einer Lagerung in 37 °C temperierten destilliertem Wasser unterzogen. Die Werkstoffproben wurden zunächst im Abstand von ein bis zwei Tagen, später wöchentlich bis zur Sättigung nach kurzem Abtrocknen mit Zellstofftüchern gewogen. Aus der Differenz zum Ausgangswert ergab sich die Gewichtszunahme.

4.3.10 Polymerisationsschrumpfung

Die Polymerisationsschrumpfung ist die Volumenkontraktion, die auftritt, wenn das Monomer zum Polymer reagiert. Dabei rücken die ungeordneten Monomermoleküle enger zusammen und ordnen sich, d.h. das benötigte Volumen wird verringert (Janda, 2000a). Somit stellt allein der Matrixanteil die schrumpffähige Komponente der Komposite dar (Ernst, 2003).

Mit der Prüfmaschine DMA 7 (Dynamic Mechanical Analyzer) von Perkin Elmer und der zugehörigen Software konnte die Volumenkontraktion ermittelt werden: Auf einer Quarzglasscheibe ($h = 2 \text{ mm}$, $\varnothing = 15 \text{ mm}$) wurde ein Metallring ($h = 2 \text{ mm}$, $\varnothing = 5 \text{ mm}$) mittig positioniert, mit dem Komposit bündig ohne Luftblaseneinschlüsse gefüllt und mit einer Klarsichtfolie von ca. 4 mm Durchmesser abgedeckt. Dabei handelt es sich um eine glasklare, dünne Kunststoffolie, die lediglich das Festkleben des Prüfstempels am Komposit, sowie die Bildung einer Inhibitionsschicht verhindern sollte. Eine zusätzliche Lichtabsorption durch die Folie kann ausgeschlossen werden. Die Ausgangshöhe der so vorbereiteten Proben wurde im DMA 7 bestimmt. Dazu wurde ein Stempel ($\varnothing = 5 \text{ mm}$) computergesteuert drucklos auf die Probe gesenkt und der Höhenunterschied zur geeichten Quarzglasplatte berechnet. Während der Stempel weiterhin auf der Probenoberfläche ruhte, erfolgte die 2minütige Belichtung der Probenunterseite mit dem Lichtpolymerisationsgerät Heliolux DLX (Ivoclar Vivadent). Eine 4minütige Standzeit schloss sich an. Während der gesamten Versuchszeit wurde die Höhenänderung der Werkstoffprobe durch den kontaktierenden Stempel re-

gistriert, durch die Software berechnet und graphisch dargestellt. Aus den Höhenangaben ließ sich die Polymerisationsschrumpfung in [%] nach der Formel:

$100 - (h_E \times 100 / h_A)$ berechnen (h_A = Ausgangshöhe, h_E = Endhöhe).

Jedes Verblendkomposit wurde mindestens sieben Messungen bei Raumtemperaturen von 22 bis 24 °C unterzogen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 13 dargestellt.

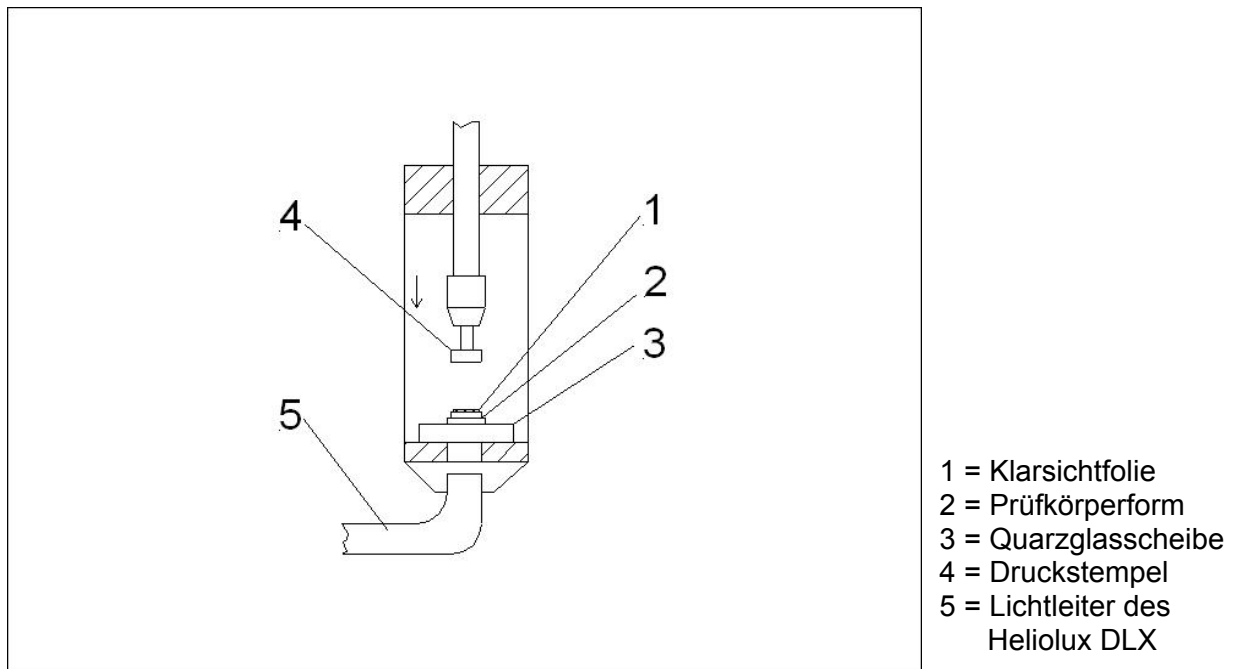


Abb. 13: Versuchsaufbau zur Messung der Polymerisationsschrumpfung

4.3.11 Exogene Verfärbungsneigung

Exogene Verfärbungen entstehen sowohl durch Adhäsion von Farbpigmenten, wie sie z.B. in Kaffee, Tee, Tabak oder Rotwein enthalten sind, als auch durch Adsorption von organischen Substanzen, Nahrungsmitteln und Medikamenten in Rauigkeiten, Porositäten und feinsten Haarrissen (Craquelées) der Kompositoberfläche, welche durch chemische, physikalische und thermische Beanspruchung während der Gebrauchsperiode hervorgerufen werden (Welker, 2000).

Je Komposit wurden 13 stabförmige Prüfkörper analog 4.3.1 gefertigt. Immer 2 Proben eines Materials wurden in eine der 5 färbenden Flüssigkeiten bzw. aqua dest. gegeben und für 4 Wochen bei 37 °C aufbewahrt. Parallel dazu wurden Kontrollprüfkörper über den gesamten Zeitraum hin trocken und dunkel gelagert. Die 5 färbenden Flüssigkeiten wurden folgendermaßen hergestellt (Joachim, 1991):

Medium:	Herstellung:
Kaffee: („Melitta“ Harmonie Naturmild)	3,4 g Kaffeepulver mit 60 ml kochendem Wasser überbrüht, 10 min ziehen lassen
Tee: („Lipton“ Assam)	2,75 g losen, schwarzen Tee mit 60 ml kochendem Wasser aufbrühen, 10 min ziehen lassen
Tabak: (American Blend „Scout“)	2,2 g loser Zigarettentabak in 100 ml kochendes Wasser geben und 10 min ziehen lassen
Rotwein: („Paron Pilers“ Cabernet Sauvignon)	durch den Hersteller 1998, Chile
Methylenblau: (0,005%ig)	0,05 ml Methylenblau (10%ig) in 100 ml destilliertes Wasser geben.

Nach der Lagerung wurden die Prüfkörper herausgenommen, gründlich mit Wasser abgespült und mit Zellstofftüchern getrocknet. Anschließend wurden sie zunächst einer subjektiven Farbeinschätzung unterzogen. Dabei betrachteten 7 normalfarbsichtige Personen unabhängig voneinander bei Tageslicht die Proben auf einer weißen Unterlage. Jeweils ein im Medium gelagerter Prüfkörper wurde mit seinem entsprechenden Kontrollprüfkörper verglichen und visuell eingeschätzt. Es wurden folgende Verfärbungsgrade unterschieden (Raeke, 1979; Joachim, 1991):

- 0 - keine sichtbare Verfärbung
- 1 - eben sichtbare Verfärbung
- 2 - deutlich sichtbare Verfärbung
- 3 - starke Verfärbung

Da die visuelle Einschätzung zur Beurteilung der Verfärbungen wegen der Subjektivität begrenzt ist, wurden die Prüfkörper außerdem mit dem computergestützten Farbmessgerät Shade Eye NCC (Shofu) quantitativ ausgewertet. Mit diesem auf dem CIELAB-System (Commission Internationale de l'Eclairage) basierenden Gerät wurde jede "gefärbte" Probe unter Messgerät-Kontakt auf einer weißen Unterlage gemessen. Dabei wurde die Messspitze des Farbmessgerätes immer in der Probenmitte positioniert. Nach dem gleichen Prinzip wurde als Referenz für jedes Präparat der

trocken und dunkel gelagerte Kontrollprüfkörper vermessen. Aus den Einzelfarbwerten L, a und b, welche Informationen über Helligkeit, Farbton und Sättigung ergeben, konnte die Farbveränderung ΔE nach folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}.$$

Dabei repräsentieren x_1 = Messwerte der im Medium gelagerten Prüfkörper (Istfarbe)
 x_2 = die Messwerte der Kontrollprüfkörper (Sollfarbe).

ΔL beschreibt hierbei die Helligkeitsänderung ($\Delta L > 0 \Rightarrow$ heller, $\Delta L < 0 \Rightarrow$ dunkler),
 Δa die Veränderung auf der Rot-Grün-Achse ($\Delta a > 0 \Rightarrow$ roter, $\Delta a < 0 \Rightarrow$ grüner) und
 Δb die Veränderung in der Gelb-Blau-Richtung ($\Delta b > 0 \Rightarrow$ gelber, $\Delta b < 0 \Rightarrow$ blauer).
 Die Lage eines Farbootes im dreidimensionalen Farbraum wird durch den Raumvektor E bestimmt. ΔE ist nach der CIELAB-Systembeschreibung unter günstigen Bedingungen ein Maß für den visuell erkennbaren Farbunterschied (CIELAB-Systembeschreibung, 2002; Egger, 2002; Kolbeck et al., 2003).

Zudem wurde aus den drei Komponenten L, a und b der Verfärbungsgrad V errechnet, welcher die Streuung der L a b - Werte um die Kontrollprobe widerspiegelt.

$$V = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x)^2}{n - 1}}$$

wobei V = Verfärbungsgrad

x = Messwert der Kontrollprüfkörper

x_1 = Messwert der im Medium gelagereten Prüfkörper

n = Zahl der unterschiedlichen Medien

ist.

Subjektiv (Grad 0 bis 3) und metrisch (siehe Formel) erfasste Verfärbungsgrade V dienten in Verbindung mit dem berechneten Farbabstand ΔE der Bestimmung der exogen Verfärbung.

4.3.12 Entfärbungs- und Reinigungsmöglichkeit nach Lagerung in färbenden Medien

Da sich an Kompositverblendungen exogene Verfärbungen während der Nutzperiode nicht vermeiden lassen, soll in ergänzenden Untersuchungen geprüft werden, inwieweit eine Beseitigung der Verfärbungen effektiv möglich ist. Dabei soll auch unter-

sucht werden, ob durch die verschiedenen Reinigungsverfahren eine Verschlechterung der Oberfläche eintritt.

Diese Untersuchungen wurden an Sculpture, Sinfony, Solidex, Solidex (neu) und Targis durchgeführt. Je Material wurden 49 zylinderförmige Prüfkörper ($h = 6 \text{ mm}$, $\varnothing = 6 \text{ mm}$) unter Verwendung der in Abbildung 17 dargestellten Form hergestellt. Alle Prüfkörper wurden an ihrer Unterseite markiert, um später einheitlich deren Oberseite auswerten zu können. Jeweils 16 Prüfkörper eines Komposits wurden für 4 Wochen bei 37°C in eine der 3 färbenden Flüssigkeiten Kaffee, Rotwein oder Methylenblau gegeben. Die Zubereitung der Medien erfolgte analog 4.3.11. Ein unbehandelter Prüfkörper pro Präparat wurde trocken und dunkel gelagert, um als Referenz dienen zu können. Nach der Lagerung wurden die Proben entnommen, gründlich mit Wasser abgespült und mit Zellstofftüchern getrocknet. Der Verfärbungsgrad wurde mit dem Farbmessgerät Shade Eye NCC (Shofu), wie unter 4.3.11 aufgezeigt, erfasst und der Farbabstand ΔE errechnet. Die vermessenen Prüfkörper wurden unterschiedlichen, praxisrelevanten Reinigungsverfahren ausgesetzt:

1. Ultraschallreinigung im Sonorex TK 30 - Gerät (Bandelin):

Ultraschallreiniger: - elma clean 35 Prothetikreinigungskonzentrat

(Elma)

Charge: UBA 12400152

pH-Wert (bei Verdünnung 1:50): 5,5

- VOCO UL 10 Ultraschalluniversalreinigungskonzentrat

(Voco)

Charge: 013658

pH-Wert (bei Verdünnung 1:3): 4-5

Nach 3minütigem Ultraschallbad wurden die Proben entnommen, getrocknet und mit dem Farbmessgerät vermessen. Die Reinigungslösung wurde erneuert, die Proben wurden für weitere 3 Minuten in das Reinigungsbad gegeben, anschließend getrocknet und vermessen. Dieser Vorgang wurde noch vier Mal wiederholt, so dass die Proben insgesamt 18 Minuten im Ultraschallreinigungsbad lagen. Aus den errechneten ΔE -Werten ließ sich ableiten, ob eine Entfärbung stattgefunden hat, und nach welcher Zeit diese eingetreten ist.

2. Nadelstrahlreinigung im ECOCLEAN-Glanzgerät (Schütz):

Reinigungsbäder: - Reinigungsbad 1: - 50 ml Reinigungsfluid grün universal

(Schütz)

- 150 ml destilliertes Wasser

- 150 g Reinigungsnadeln (aus V2A-Stahl, Länge: ≈ 5 mm, $\varnothing \approx 0,5$ mm, mehrfach gebraucht)

- Reinigungsbad 2: - 40 ml Reinigungsfluid grün säurehaltig

(Schütz)

- 150 ml destilliertes Wasser

- 150 g Reinigungsnadeln (aus V2A-Stahl, Länge: ≈ 5 mm, $\varnothing \approx 0,5$ mm, mehrfach gebraucht)

pH-Wert (beider Reinigungskonzentrate): 1,0

Das Funktionsprinzip des ECOCLEAN-Glanzgerätes (Schütz) beruht auf der Erzeugung eines magnetischen Feldes, in welchem die im Reinigungsbad befindlichen Nadeln rotieren. Dadurch üben sie einen mechanischen Reinigungseffekt auf die Prüfkörper aus, welcher durch das zugesetzte saure Reinigungsfluid noch verstärkt wird. Die Nadeln haben abgerundete Enden, um die zu reinigenden Objekte nicht zu verletzen. Die Behandlung der Prüfkörper im entsprechenden Reinigungsbad betrug 30 Minuten (Raser, 2002). Es schloss sich die quantitative Farbmessung an den abgetrockneten Proben mit dem Farbmessgerät an. Die Farbveränderung bzw. der Entfärbungsgrad ΔE wurde ermittelt.

3. Reinigung mittels Tabletten-Reinigerlösungen:

Reinigungstablette:	Hersteller:	Charge:	pH-Wert der Lösung: jeweils 1 Tablette auf 100 ml Wasser
blend-a-dent 2-Phasen Ultra	Protector & Gamble GmbH	0185A3	7,4
Corega tabs	Stafford - Miller	1T00122	7,5
Corega tabs dental weiß	Stafford - Miller	3T99353	7,5

Kukident aktiv 3	Reckitt - Benckiser Deutschland AG	#172322	5,6
Kukident intensiv	Reckitt - Benckiser Deutschland AG	#172323	2,7
Protefix	Queisser Pharma	002010	6,9

Die Prüfkörper standen nebeneinander in Bechergläsern und wurden bei Raumtemperatur für 24 Stunden mit der Reinigungslösung aus jeweils 1er Tablette pro 100 ml Wasser bedeckt. Nach gründlichem Abspülen der Proben mit Wasser wurden diese mit Zellstofftüchern getrocknet, mit dem Farbmessgerät vermessen und ausgewertet. Auf diese Weise wurden die Prüfkörper insgesamt 10 Mal in stets neu hergestellte Reinigungslösungen gelegt und im Anschluss auf Farbveränderung untersucht.

4. mechanische Reinigung mit der elektrischen Zahnbürste Braun Typ 4728 (Braun Oral B) und verschiedenen Reinigungsmitteln

Reinigungsmittel:	Hersteller:	Charge:
Colgate dental white (Zahnpasta)	Colgate - Palmolive	M8412
Corega 1 Minute (Prothesenreinigungsschaum)	Stafford - Miller	0200
Blend-a-dent Hygienic (Prothesenreinigerpaste)	Protector & Gamble GmbH	W014050
blend-a-med Kariosan (Zahnpasta)	Protector & Gamble GmbH	8203R3
Sidol (Haushaltsreiniger)	Henkel	5520TS53-S

Die elektrische Zahnbürste war in einer Halterung befestigt, die das freie Oszillieren bzw. Rotieren des kleinen Bürstenkopfes zuließ. Der zu reinigende Prüfkörper befand sich unter dem Bürstenkopf in einer Form, welche nur die zu reinigende Oberfläche preisgab. Der Druck des Bürstenkopfes auf die Prüfkörperoberseite

betrug 1 N. Jeweils 3 Prüfkörper pro Lagermedium wurden entweder nur mit der elektrischen Zahnbürste oder mit der elektrischen Zahnbürste plus Zahnpaste bzw. Reiniger für je 2 min bearbeitet, anschließend sorgfältig mit Wasser abgespült und mit Zellstofftüchern getrocknet. Es folgte die Erfassung der Farbveränderung ΔE unter Zuhilfenahme der mittels des Shade Eye NCC (Shofu) gewonnenen L a b-Werte. Jede Probe wurde auf diese Weise insgesamt 10 Minuten gereinigt, wobei im zweiminütigen Abstand die Prüfkörperoberseiten vermessen und danach der Versuch weitergeführt wurde. Um einer Verfälschung der Messergebnisse durch die nicht der Reinigung unterzogenen Probenseitenränder entgegenzuwirken und um die Vergleichbarkeit der Werte mit denen aus den übrigen Reinigungsverfahren zu gewährleisten, wurden die Seitenränder eines jeden Prüfkörpers bereits vor Reinigungsbeginn unter Verwendung einer kreuzverzahnten Hartmetallfräse gemäß 4.3.13 weitgehend von Farbpigmenten befreit.

Zudem wurde zur Festlegung der Wahrnehmungsgrenze eine subjektive Einschätzung des Farbunterschiedes vorgenommen. Dabei betrachteten 9 normalfarbsichtige Personen eine Auswahl von "gereinigten" Prüfkörpern und verglichen diese mit der dunkel gelagerten Kontrolle.

Des weiteren wurde untersucht, ob durch eine Bürstenabrasion eine Aufrauung der Oberflächen infolge der Hygienisierungsmaßnahmen stattgefunden hat. Dazu wurden alle Prüfkörperoberseiten der im Nadelstrahlverfahren bzw. mittels elektrischer Zahnbürste mechanisch gereinigten Prüfkörper mit dem Hommeltester T1000 (Hommelwerke) abgetastet und die Rauheitsparameter R_a , R_z und R_t bestimmt. Auch die in der Tablettenlösung Corega tabs dental weiß gereinigten Prüfkörper wurden so auf ihre Oberflächenrauigkeit hin untersucht. Für jedes Präparat diente die unter Folie polymerisierte Oberfläche als Vergleichsstandart. Anschließend wurden die abgetasteten Prüfkörperoberflächen unter dem Rasterelektronenmikroskop beurteilt.

4.3.13 Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung und Politur

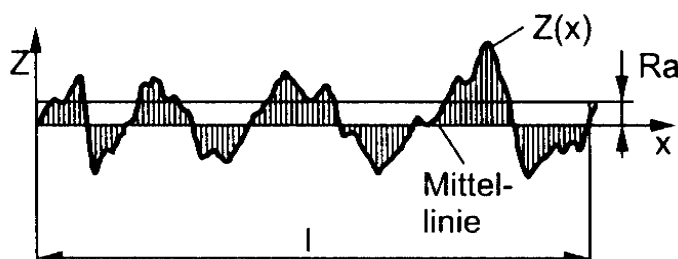
Diese Untersuchungen dienen dazu, die Oberflächenqualität der neu entwickelten Kompositverblendmaterialien Estenia und Sculpture nach Ausarbeitung und Politur mit unterschiedlichen Werkzeugen unter Zuhilfenahme quantitativer Parameter zur Beschreibung der Oberflächengüte zu bestimmen.

Die Oberflächengüte eines Werkstoffes wird durch seine Oberflächengestalt und seine Oberflächeneigenschaften bestimmt. Bei der Beschreibung der Oberflächengestalt ist die wirkliche Oberfläche von der Ist-Oberfläche abzugrenzen. Die wirkliche Oberfläche eines Werkstoffes ist seine Begrenzung zum umgebenden Medium, wohingegen die messtechnisch erfassbare Oberfläche die Ist-Oberfläche darstellt. „Die Gesamtheit aller Abweichungen der Ist-Oberfläche von der geometrisch idealen Oberfläche bezeichnet man als Gestaltabweichung.“ Diese ist in 6 Ordnungen unterteilt. Die wichtigsten stellen Formabweichung, Welligkeit und Rauheit dar (Fischer et al., 1990; Jung und Borchers, 2000; Hommelwerke, Firmenschrift Rauheitsmessung, 1993).

Die Güte einer Oberfläche zeigt sich in der Rauheit, als Maß für die Gestaltabweichung, in der Härte und der Porosität eines Materials (Lindemann und Körber, 1985). Mittels mechano-elektrischer Abtastgeräte lässt sich die Oberfläche von Werkstoffen profilometrisch erfassen. Relevante Rauheitsmessgrößen sind z.B. der arithmetische Mittenrauwert R_a , die gemittelte Rautiefe R_z und die maximale Rautiefe R_t . Nachfolgend sollen die aufgeführten Rauheitsparameter entsprechend DIN EN ISO 4287 näher charakterisiert werden.

1. arithmetischer Mittenrauwert R_a :

Der Mittenrauwert R_a ist der arithmetische Mittelwert aller Profilabweichungen des Rauheitsprofils R von der mittleren Linie innerhalb der Gesamtmessstrecke l_m (Abb. 14). Die Mittellinie ist dabei eine konstruierte Linie, welche durch Filterung des abgetasteten Profils entsteht. Sie teilt das Profil so, dass die Summe aller Flächen oberhalb und unterhalb von ihr gleich groß ist (Hommelwerke, Firmenschrift Rauheitsmessung, 1993).



$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx$$

Abb. 14: Arithmetischer Mittenrauwert R_a (Hommelwerke, Firmenschrift Rauheitsmessung, 1993)

2. gemittelte Rautiefe R_z

Die gemittelte Rautiefe R_z (Abb. 15) stellt das arithmetische Mittel aus den Einzelrautiefen Z_1 bis Z_5 fünf aufeinanderfolgender Einzelmessstrecken l_e dar, wobei die Einzelrautiefe als senkrechter Abstand zwischen höchstem und tiefsten Punkt des Rauheitsprofils R innerhalb einer Einzelmessstrecke l_e definiert ist (Hommelwerke, Firmenschrift Rauheitsmessung, 1993).

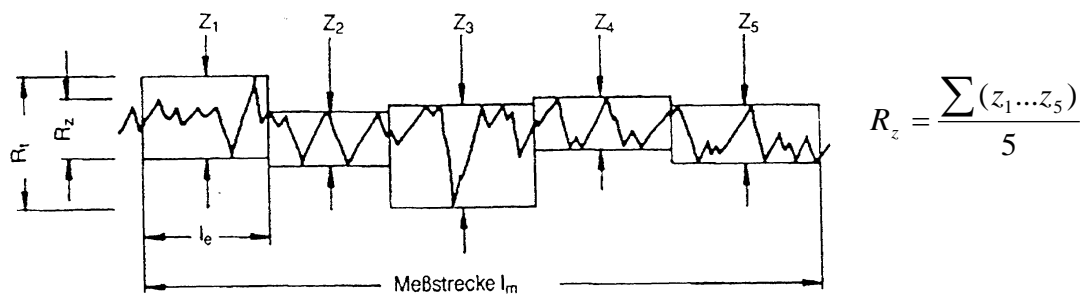


Abb. 15: Gemittelte Rautiefe R_z (Gebhardt, 2001)

3. maximale Rautiefe R_t

Die maximale Rautiefe R_t (Abb. 16) ist durch den maximalen Abstand von der höchsten Profilerhebung bis zum tiefsten Profiltal innerhalb der Messstrecke l_m gekennzeichnet. R_t wird durch einzelne Profilausreißer, welche i.d.R. nicht funktionsentscheidend sind, beeinflusst (Hommelwerke, Firmenschrift Rauheitsmessung, 1993).

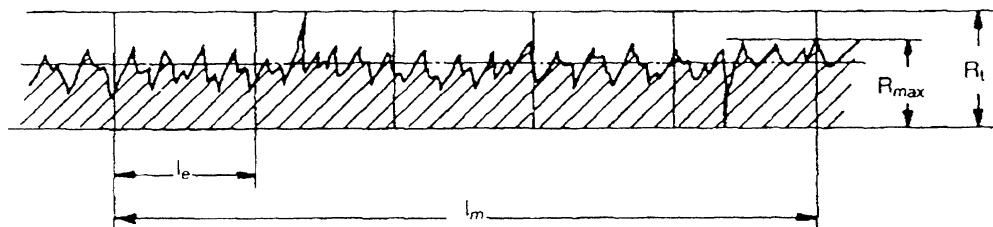


Abb. 16: Maximale Rautiefe R_t (Gebhardt, 2001)

Auch die in die Mundhöhle eingebrachten Verblendkomposite müssen hinsichtlich ihrer Oberflächenstruktur gewisse Kriterien erfüllen, um dauerhaft Bestand zu haben. Dazu gehört neben der formgebenden Bearbeitbarkeit auch die Polierbarkeit. Durch beide Verfahren wird die wirksame Oberfläche verkleinert bzw. eingeebnet. Dadurch werden negative biologische Effekte zurückgedrängt und die mechanischen Eigenschaften optimiert. Eine polierte Kompositoberfläche minimiert die Gingivairritation, die Retention von Mikroorganismen, Speichel, Epithel und Nahrungsresten, lässt eine gute Reinigung zu und führt zu optimalen ästhetischen Effekten (Nagem Filho et al., 2003; Rzanny und Welker, 2000; Rzanny et al., 2003a, 2003b). Für die Polierfähigkeit ist eine kleine Füllstoffpartikelgröße Voraussetzung, die bei den Mikrofüller- und Feinstpartikelkompositen mit einer mittleren Korngröße von 0,1 μm gegeben ist. Unter Verwendung der oben beschriebenen Rauheitsparameter kann eine bearbeitete bzw. polierte Kompositoberfläche quantitativ beschrieben werden. Auch die Vergleichbarkeit der Oberflächen untereinander wird so möglich (Rzanny und Welker, 2000; Rzanny et al., 2003a, 2003b).

Von Estenia und Sculpture wurden in einer geteilte Teflonform (Abb. 17) mindestens je 10 Proben hergestellt und trocken gelagert.

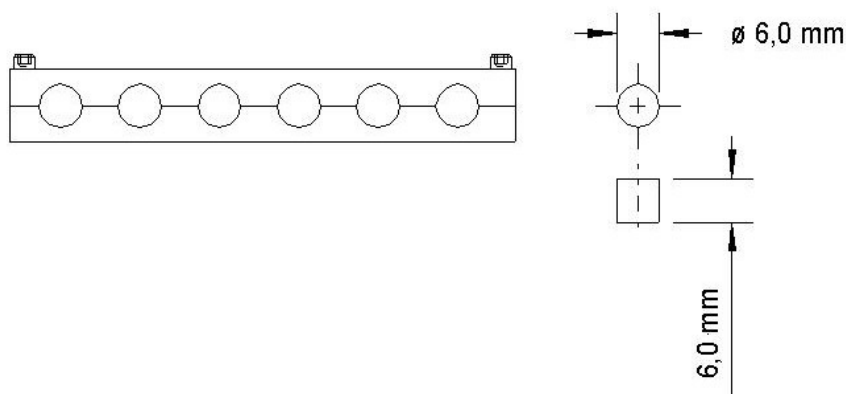


Abb. 17: Prüfkörperform zur Herstellung zylinderförmiger Proben

Jeweils 3 Werkstoffproben wurden an einer Stirnseite mit den in Tabelle 9 aufgeführten Ausarbeitungsinstrumenten bei gleichbleibender Bearbeitungsrichtung bearbeitet und anschließend mit dem mechano-elektrischen Abtastgerät Hommeltester T1000 (Hommelwerke) geprüft.

Tab. 9: Verwendete Ausarbeitungsinstrumente

Ausarbeitungsinstrument; Code	Firma	Kenn-Nummer	Schaft	Umdrehungen [1 / min]
Hartmetallfräse (kreuzverzahnt, fein (rot)); HMF	Heraeus Kulzer	HF79EF040	H	20.000
Finierer (12schneidig); W12	Brand	TF 7714	W	20.000
Finierer (32schneidig); W32	Brand	EF 9714	W	20.000
Diamantschleifer grob (grün); grü D	Komet	858 G	W	20.000
Diamantschleifer mittel (rot); ro D	Komet	858 F	W	20.000
Diamantschleifer fein (gelb); gel D	Komet	858 C	W	20.000
Diamantschleifer extra fein (weiß); wei D	Komet	858 U	W	20.000

Nach diesen Ergebnissen wurde die Entscheidung über die einheitliche Ausgangssituation für die anschließende Politur getroffen. Die begründete Wahl fiel auf die kreuzverzahnte Hartmetallfräse, die auch in der Zahntechnik das am häufigsten verwendete Instrument zur Konturierung einer Kunststoffverblendung darstellt. Je Komposit wurden 7 Prüfkörper entsprechend vorbehandelt und dann 7 verschiedenen Poliermaßnahmen (Tab. 10) unterzogen. Dabei erfolgte die Politur eines Prüfkörpers immer in einem System, wobei die vom Hersteller festgelegte Instrumentenreihenfolge beibehalten wurde. Nach jedem Polierinstrument oder -system wurde die erreichte Oberflächenrauigkeit mit dem Hommeltester T1000 (Hommelwerke) bestimmt.

Tab. 10: Verwendete Polierinstrumente bzw. Poliersysteme (H - Handstückschaft, W – Winkelstückschaft)

Polierinstrument/ Poliersystem	Code	Firma	Kenn-Nummer	Schaft	Umdrehungen [1 / min]
Gebr. Brasseler 3 Stufen	BR	Komet	9687.900.180 9688.900.180 9689.900.180	H	6.000
Compomaster (radförmig)	CM	Shofu	0044	H	10.000
Compomaster (kelchförmig)	CM	Shofu	0265	H	10.000
Diagloss 2 Stufen	DG	NTI	grob P19035 fein P1935	W	10.000
Kunststoffpolierer 3 Stufen	KP	NTI	grob P0653B mittel P0663B fein P0673B	H	10.000 10.000 6.000
Polierstraße (Meisinger-Tool-Kit: 2581): Silikonfinierer Silikonpolierer Bürste Ziegenhaarbürste Baumwollbürste und Paste	PS	3M Espe	 9508 braun 9507 grün 253 weiß 100 150	H	5.000
Politip	PT	Vivadent	47266	W	6.000
Super Snap 4 Stufen (schwarz, lila, grün, rosa)	SS	Shofu	coarse L506 medium L528 fine L501 superfine L502	W	10.000

Des weiteren wurden folgende Werkzeugkombinationen untersucht:

- Bearbeitung mit dem 12schneidigen Finierer und Politur mit den Handstückinstrumenten: Kunststoffpolierer NTI, Gebr. Brasseler Polierdisks oder kelchförmiger Compomaster
- Bearbeitung mit dem 12schneidigen Finierer und Politur mit den Winkelstückinstrumenten: Super Snap Scheiben oder Politip
- Bearbeitung mit dem roten Diamanten und Politur mit dem Winkelstückinstrument: Super Snap Scheiben.

Bei allen Untersuchungen diene die unter Folienpolymerisation erreichte Oberfläche als Referenzstandard.

Der Hommeltester T1000 (Hommelwerke) ist ein elektro-mechanisches Tastschnittgerät, welches auf einer Taststrecke die Oberfläche zweidimensional erfasst. Dabei bewegt sich eine Diamantspitze horizontal zur Werkstückoberfläche, wobei der vertikale Hub in ein elektrisches Signal umgesetzt wird und kleinste Vertikalbewegungen registriert werden (Abb. 18). Die Messstrecke l_m betrug abzüglich der Vorlaufstrecke 1,25 mm. Zur Erfassung des Rauheitsprofils, welches durch die festgelegte Grenzwellenlänge $l_c = 0,25$ mm vom Welligkeitsprofil abgegrenzt wird, diene der M1 Filter (DIN 4777). Als Rauheitsmessgrößen wurden der arithmetische Mittenrauwert R_a , die gemittelte Rautiefe R_z und die maximale Rautiefe R_t ermittelt.

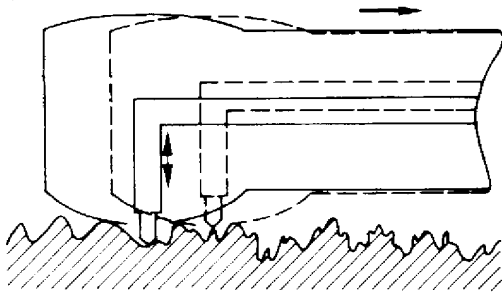


Abb. 18: Prinzip des Tastschnittverfahrens mit Kufentaster (Jung und Borchers, 2000)

Abschließend erfolgte eine Dokumentation ausgewählter Oberflächen mit dem Rasterelektronenmikroskop.

4.4 Mathematische Auswertung

Die errechneten Mittelwerte dienten dazu, Grafiken zu erstellen. Die Streuung der Messwerte und die Anzahl der Messungen befinden sich im Anhang. Die Einzelmesswerte waren normal verteilt.

Die statistische Auswertung bzw. Überprüfung der Messergebnisse auf Signifikanz erfolgte unter Verwendung des T-Testes. Der Grenzwert für signifikante Unterschiede wurde für $\alpha = 0,01$ festgelegt.

5. Ergebnisse

Die Ergebnistabellen und Signifikanzprüfungen befinden sich im Anhang. Die Codierung der in den nachfolgenden Grafiken aufgeführten Abkürzungen ist dem Abkürzungsverzeichnis zu entnehmen.

5.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul

5.1.1 Biegefestigkeit

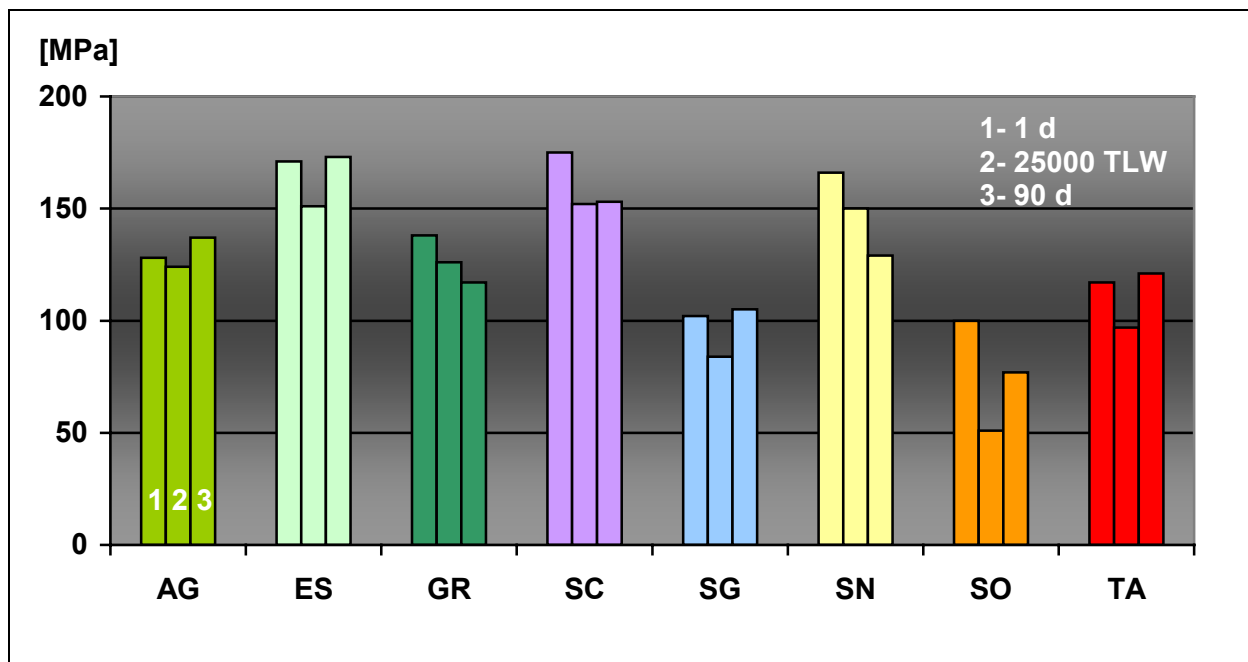


Abb. 19: Biegefestigkeit der Verblendkomposite in [MPa]

Säule 1: Biegefestigkeit nach 1 Tag Wasserlagerung bei 37 °C, Säule 2: Biegefestigkeit nach 25000 Temperaturlastwechseln, Säule 3: Biegefestigkeit nach 90 Tagen Wasserlagerung bei 37 °C

Estenia (ES), Sculpture (SC) und Sinfony (SN) (Abb. 19) konnten nach 1tägiger Wasserlagerung mit Biegefestigkeitswerten > 150 MPa signifikant stärker Biegekräfte tolerieren als die übrigen Komposite, wobei zwischen diesen drei Verblendkompositen keine signifikanten Unterschiede bestanden. Nach 25000 Temperatur-Last-Wechseln zeigten alle Komposite eine mehr oder weniger deutliche Verringerung des Kraftwiderstandes auf Biegebeanspruchung bei Beibehaltung ihrer Rangfolge. Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen Estenia (ES), Gradia (GR) und Artglass (AG) festgestellt werden. Auch Sculpture (SC) und Gradia (GR) waren in ihrem Verhalten gleichzusetzen. Signifikant höhere Biegefestigkeits-

werte gegenüber Artglass (AG), Gradia (GR), Signum (SG), Solidex (SO) und Targis (TA) wies nur Sinfony (SN) auf. Anders verhielten sich die Komposite nach 90tägiger Lagerung in 37 °C temperierten Wasser: während die Biegefestigkeit bei Gradia (GR), Sculpture (SC), Sinfony (SN) und Solidex (SO) abnahm, zeigten Artglass (AG), Estenia (ES), Signum (SG) und Targis (TA) Biegefestigkeitswerte entsprechend den 1-Tages-Werten. Mit Ausnahme der Referenzmaterialen Signum (SG) und Solidex (SO), welche signifikant verschieden niedrigere Biegefestigkeitswerte erreichten, bestanden zwischen den übrigen Kompositen keine signifikanten Unterschiede.

5.1.2 Elastizitätsmodul

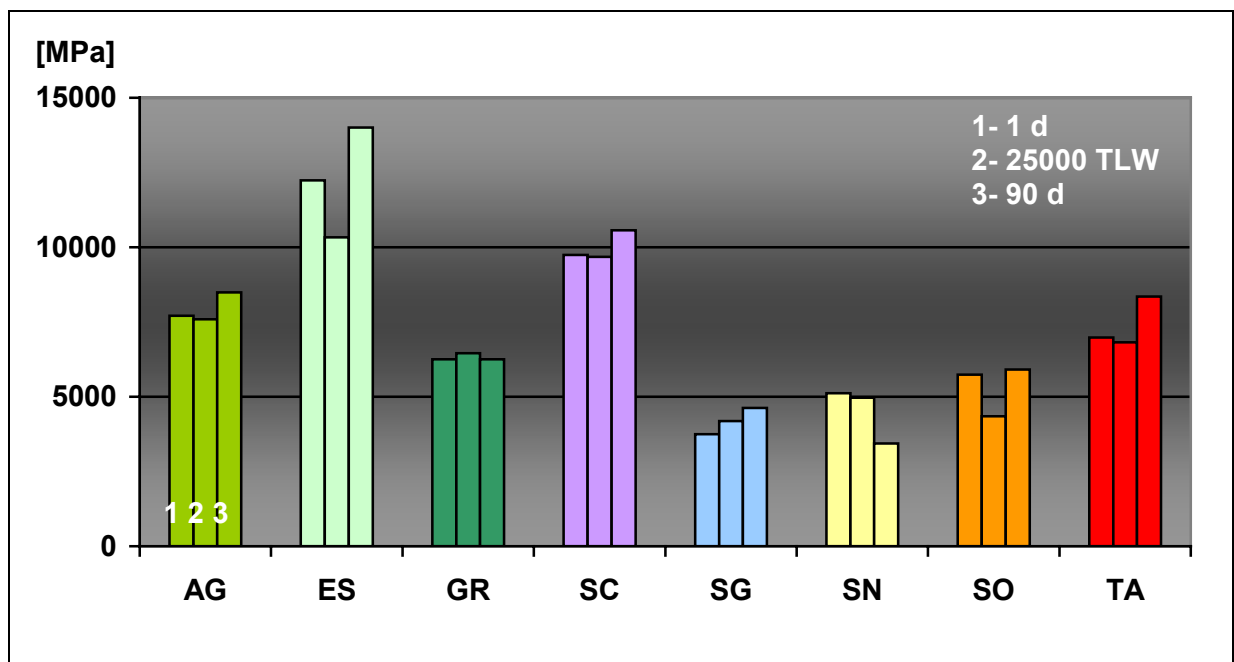


Abb. 20: Elastizitätsmodul der Verblendkomposite in [MPa]

Säule 1: E-Modul nach 1 Tag Wasserlagerung bei 37 °C, Säule 2: E-Modul nach 25000 Temperaturlastwechseln, Säule 3: E-Modul nach 90 Tagen Wasserlagerung bei 37 °C

Bei den 1-Tages-Messwerten für den Elastizitätsmodul (Abb. 20) ergab sich folgende absteigende Reihenfolge: Estenia (ES), Sculpture (SC), Artglass (AG) / Targis (TA) / Gradia (GR), Solidex (SO) / Sinfony (SN) und Signum (SG). Die durch einen Querbalken getrennten Verblendkomposite wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Eine deutliche Verringerung der Elastizität durch Stressbehandlung (25000 TLW) war nur bei Estenia (ES) und Solidex (SO) festzustellen, während Gradia (GR) und Signum (SG) einen geringfügigen Anstieg aufwiesen. Neben Estenia (ES) und Sculp-

ture (SC), unterschieden sich nun auch Solidex (SO), Sinfony (SN) und Signum (SG) nicht mehr. Nach 90tägiger Wasserlagerung wurden für Estenia (ES) und Targis (TA) im Vergleich zu den übrigen Verblendmaterialien wesentlich höhere E-Modul-Werte als nach 1tägiger Wasserlagerung ermittelt, die oben aufgeführte Reihenfolge der Komposite wurde beibehalten. Nur Sinfony (SN) zeigte einen klaren Elastizitätsverlust nach 90 Tagen in aqua dest. und war durch signifikant schlechtere E-Modul-Werte gekennzeichnet als Solidex (SO).

5.2 Druckfestigkeit

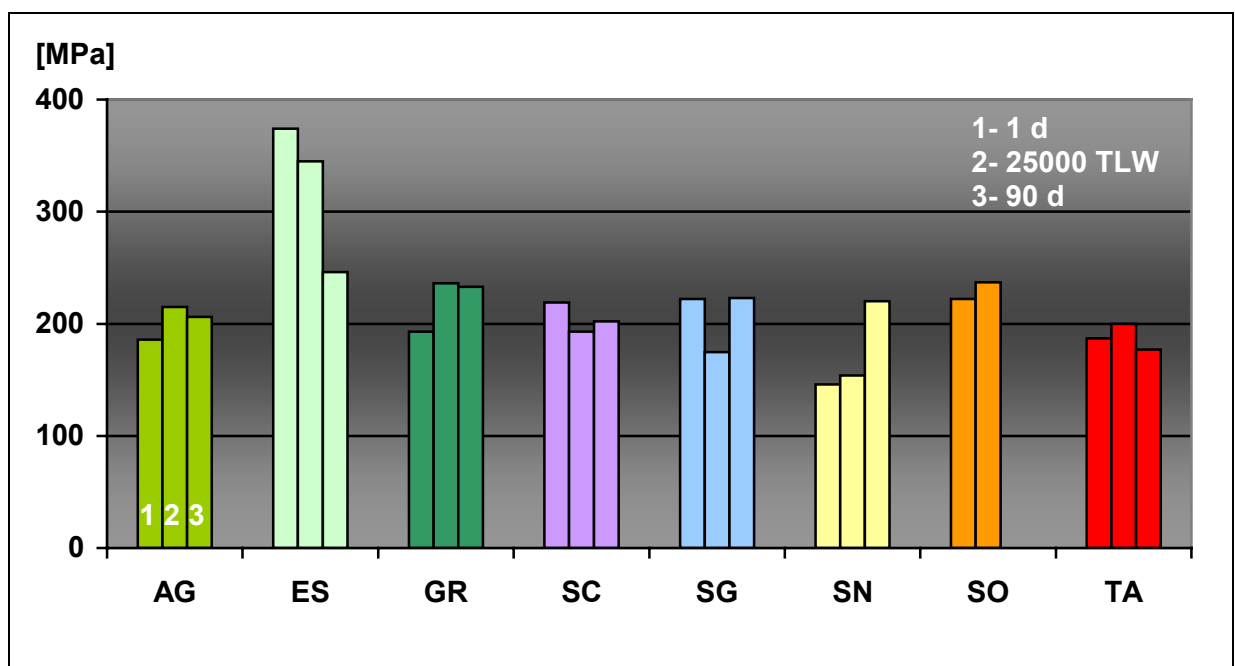


Abb. 21: Druckfestigkeit der Verblendkomposite in [MPa]

Säule 1: Druckfestigkeit nach 1 Tag Wasserlagerung bei 37 °C, Säule 2: Druckfestigkeit nach 25000 Temperaturlastwechseln, Säule 3: Druckfestigkeit nach 90 Tagen Wasserlagerung bei 37 °C

Die 1-Tages-Druckfestigkeitswerte der unterschiedlichen Materialien ähnelten einander und lagen um 200 MPa (Abb. 21). Ausnahmen stellten das neue Verblendkomposit Estenia (ES) mit einer signifikant fast doppelt so großen Druckfestigkeit und das Referenzmaterial Sinfony (SN) mit einer wesentlich geringeren Festigkeit als die übrigen Komposite dar. Das ebenfalls neue Material Sculpture (SC) wurde in seinem Verhalten auf Druckbelastung Gradia (GR), Signum (SG), Solidex (SO) und Targis (TA) gleichgesetzt. Nach 25000 Temperatur-Last-Wechseln ließen Artglass (AG), Gradia (GR), Sinfony (SN), Solidex (SO) und Targis (TA) im Gegensatz zu Estenia

(ES), Sculpture (SC) und Signum (SG), welche durch einen Verlust an Festigkeit gekennzeichnet waren, eine Druckfestigkeitssteigerung erkennen. Dadurch wurde der noch nach 1 Tag Wasserlagerung bestehende Unterschied zwischen Sculpture (SC) und Artglass (AG) aufgehoben. Signifikant höhere Druckfestigkeitswerte konnte Soli-dex (SO) gegenüber Sculpture (SC), Signum (SG) und Targis (TA) erzielen. Die höchste Festigkeit zeigte immer noch Estenia (ES). Die Druckfestigkeitswerte lagen nach 90 Tagen Wasserlagerung um 200 MPa und auffallend eng beieinander, was vor allem in dem starken Abfall der Druckfestigkeit bei Estenia (ES) und ihrem Anstieg bei Sinfony (SN) begründet ist. Somit ist die Druckfestigkeit von Estenia nur noch gegenüber Artglass (AG) und Targis (TA) signifikant erhöht.

5.3 Mikrohärte

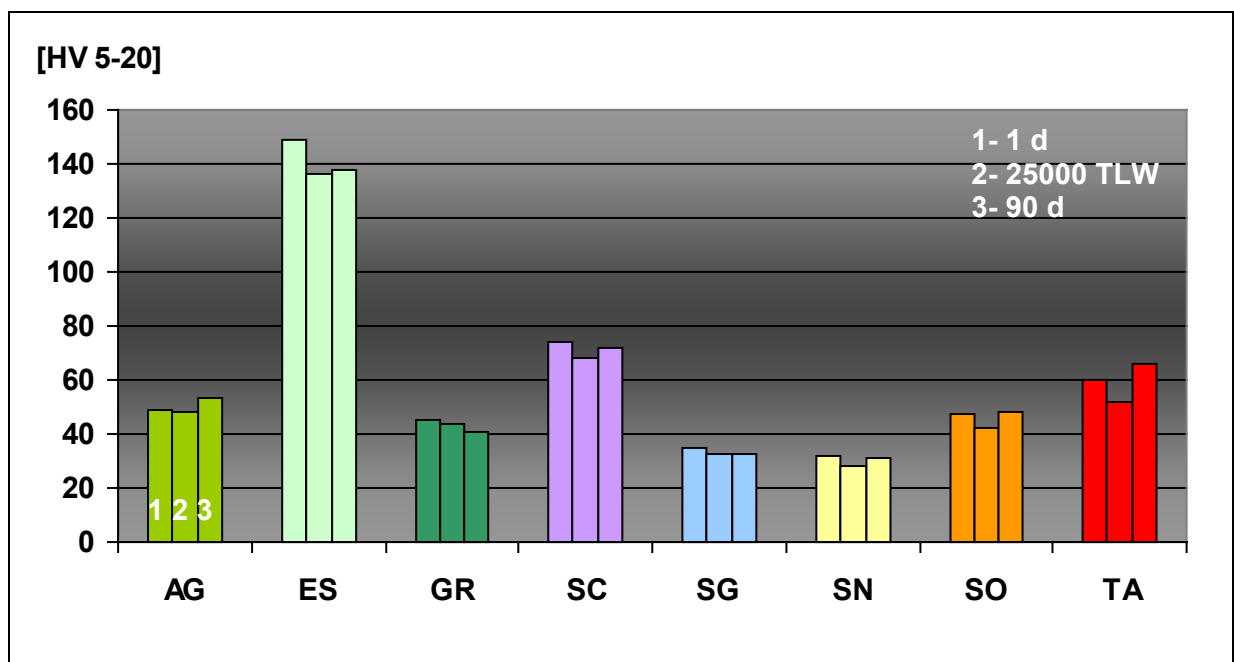


Abb. 22: Vickers-Härte [HV₅₋₂₀] der Verblendkomposite

Säule 1: Vickers-Härte nach 1 Tag Wasserlagerung bei 37 °C, Säule 2: Vickers-Härte nach 25000 Temperaturlastwechseln, Säule 3: Vickers-Härte nach 90 Tagen Wasserlagerung bei 37 °C

Durch unterschiedliche Lagerung der Prüfkörper wurden nur geringe Härteunterschiede verzeichnet (Abb. 22). Dennoch fanden sich zwischen den Verblendkompositen signifikante Unterschiede. Das neue Verblendkomposit Estenia (ES) zeichnete sich durch eine mehr als doppelt so große Vickers-Härte aus. Die nachfolgend aufgeführte absteigende Reihenfolge wurde auch nach unterschiedlicher Lagerung der

Prüfkörper beibehalten: Estenia (ES), Sculpture (SC), Targis (TA), Artglass (AG), Solidex (SO), Gradia (GR), Signum (SG) und Sinfony (SN).

5.4 Abrasionsfestigkeit

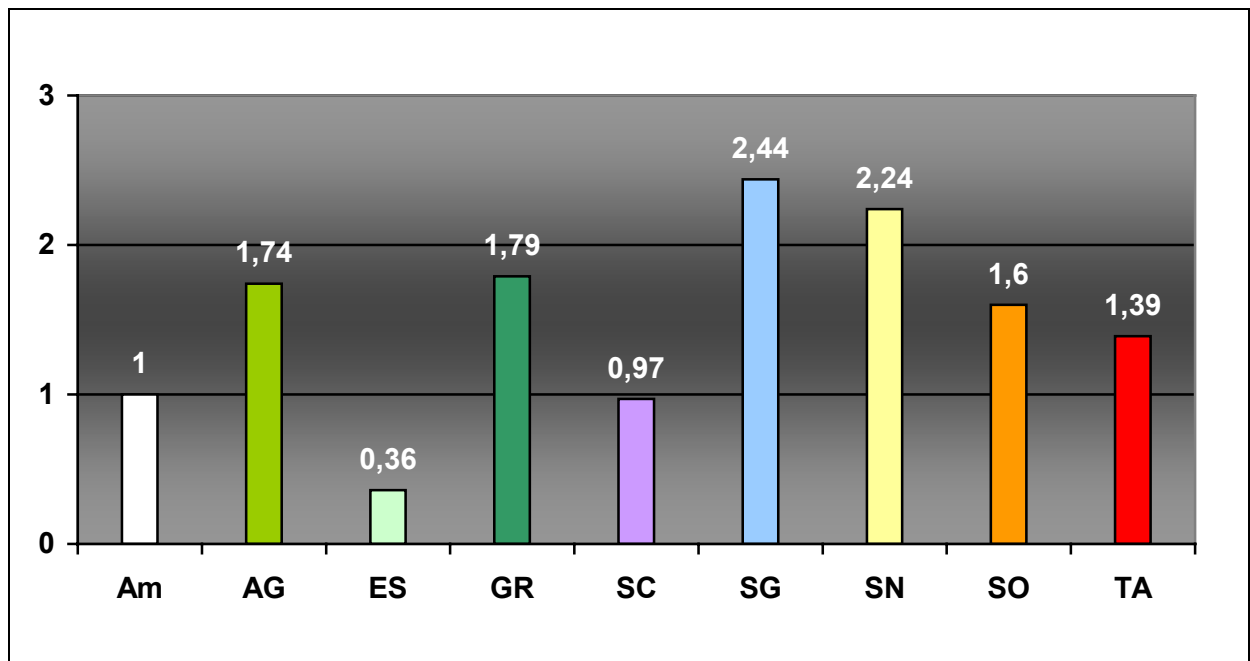


Abb. 23: Abrasionsfestigkeit der Verblendkomposite im Vergleich zum Amalgam

Bei der Bewertung der Verschleißfestigkeit wurde Amalgam als Standard definiert und gleich 1 gesetzt. Während Targis (TA) einen höheren und Artglass (AG), Gradia (GR) und Solidex (SO) einen deutlich höheren Materialabtrag zeigten, wies das Mikrofüllerkomposit Signum (SG), gefolgt von dem niedrig gefüllten Feinstkornhybridkomposit Sinfony (SN) den größten Substanzverlust auf (Abb. 23). Demgegenüber zeigte Sculpture (SC) eine Abrasionsfestigkeit wie Amalgam. Estenia (ES) wies mit dem Faktor 0,36 eine deutlich niedrigere Abrasionsrate als Amalgam auf.

5.5 Scherhaftfestigkeit

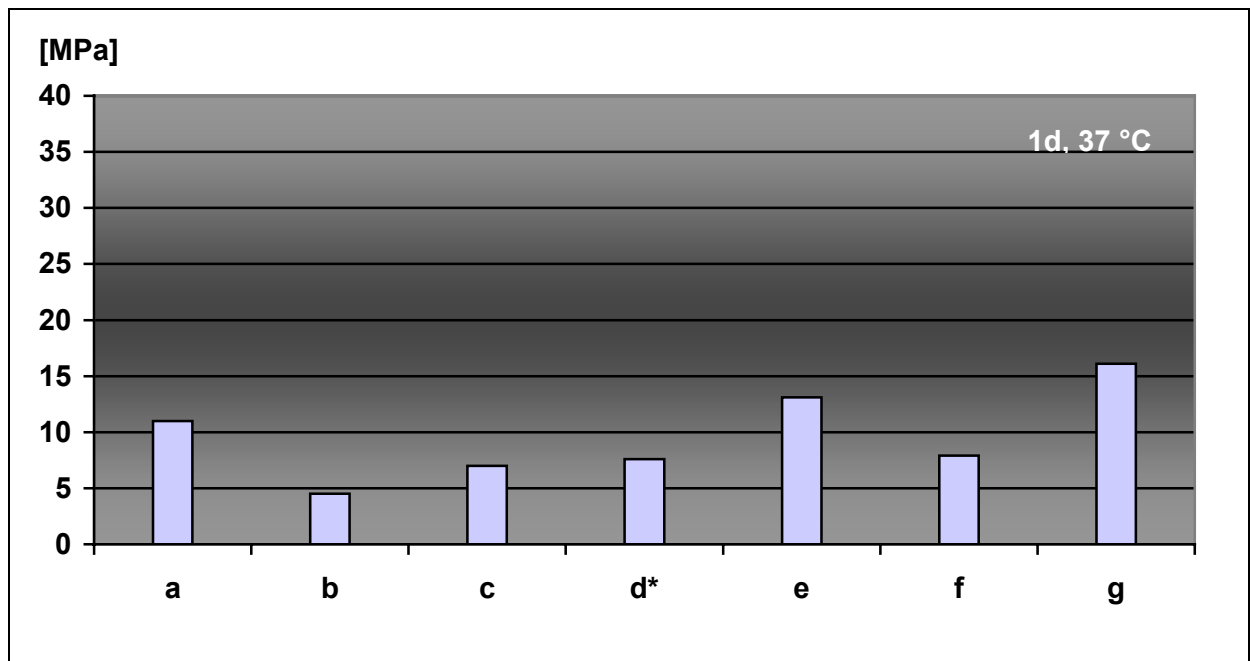
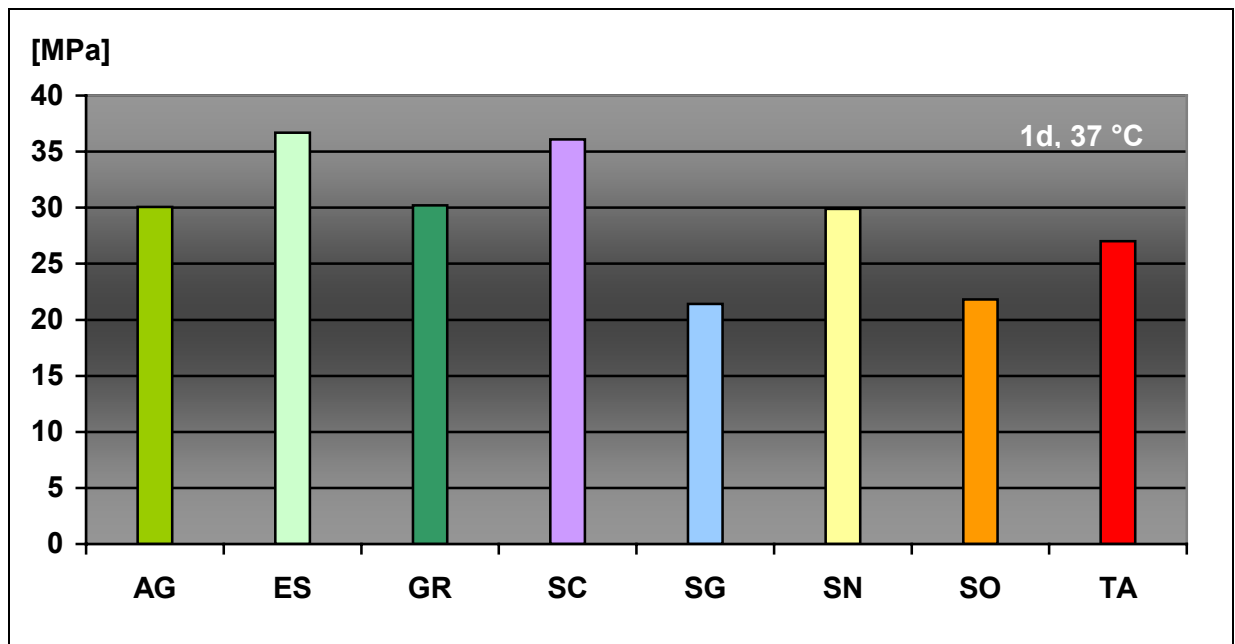


Abb. 24: Scherhaftfestigkeit von Sculpture auf NEM-Legierung Heraenium CE bei Verwendung unterschiedlicher organischer Verbundsysteme

a: Metal Coupler und Sculpture Opaker, **b:** Metal Coupler und Targis Opaker, **c:** nur Sculpture Opaker, **d*:** nur Targis Opaker, **e:** Metal Primer II und Sculpture Opaker, **f:** Metal Primer II und Targis Opaker, **g:** Metal Primer II und Gradia Opaker

Im Druck-Scher-Versuch zeigte die Kombination g - (Metal Primer II und Gradia Opaker) mit 16,1 MPa die signifikant höchste Verbundfestigkeit (Abb. 24). Absteigend folgten mit einem mittleren Festigkeitswert von 13,1 MPa die Versuchsreihe e - (Metal Primer II und Sculpture Opaker), sowie a - (Metal Coupler und Sculpture Opaker) mit 11,0 MPa. Beide Serien unterschieden sich signifikant. Deutlich niedrigere Scherhaftfestigkeitswerte lagen bei den Versuchsreihen b - (Metal Coupler und Targis Opaker) mit 4,5 MPa, c - (nur Sculpture Opaker) mit 7,0 MPa, d* - (nur Targis Opaker) mit 7,6 MPa und f - (Metal Primer II und Targis Opaker) mit 7,9 MPa vor. Nur in den Versuchsreihen g und e konnten Kohäsionsbrüche im Opaker nachgewiesen werden.

Die hohen Festigkeitswerte nach Oberflächenkonditionierung mit organischem Haftvermittler und Gradia Opaker dienten als Richtlinie für nachfolgende Untersuchungen, bei denen die Verbundfestigkeit aller Verblendkomposite nach Oberflächenkonditionierung von Wirobond C mit dem anorganischen Rocatec-Verfahren in Kombination mit Gradia Opaker geprüft wurde.



**Abb. 25: Scherhaftfestigkeit der Verblendkomposite auf NEM-Legierung Wirobond C
Verbundsystem: Rocatec - Gradia Opaker**

Dabei zeichneten sich die neuen Verblendkomposite Estenia und Sculpture mit 36,7 MPa (ES) und 36,1 MPa (SC) durch höchste Verbundfestigkeitswerte aus (Abb. 25). Ihnen folgten: Artglass mit 30,1 MPa (AG), Gradia mit 30,2 MPa (GR), Sinfony mit 29,9 MPa (SN) und Targis mit 27,0 MPa (TA). Deutlich niedrigere Werte wurden im Mittel bei Solidex mit 21,8 MPa (SO) und bei Signum mit 21,1 MPa (SG) gemessen.

5.6 Reparaturfestigkeit

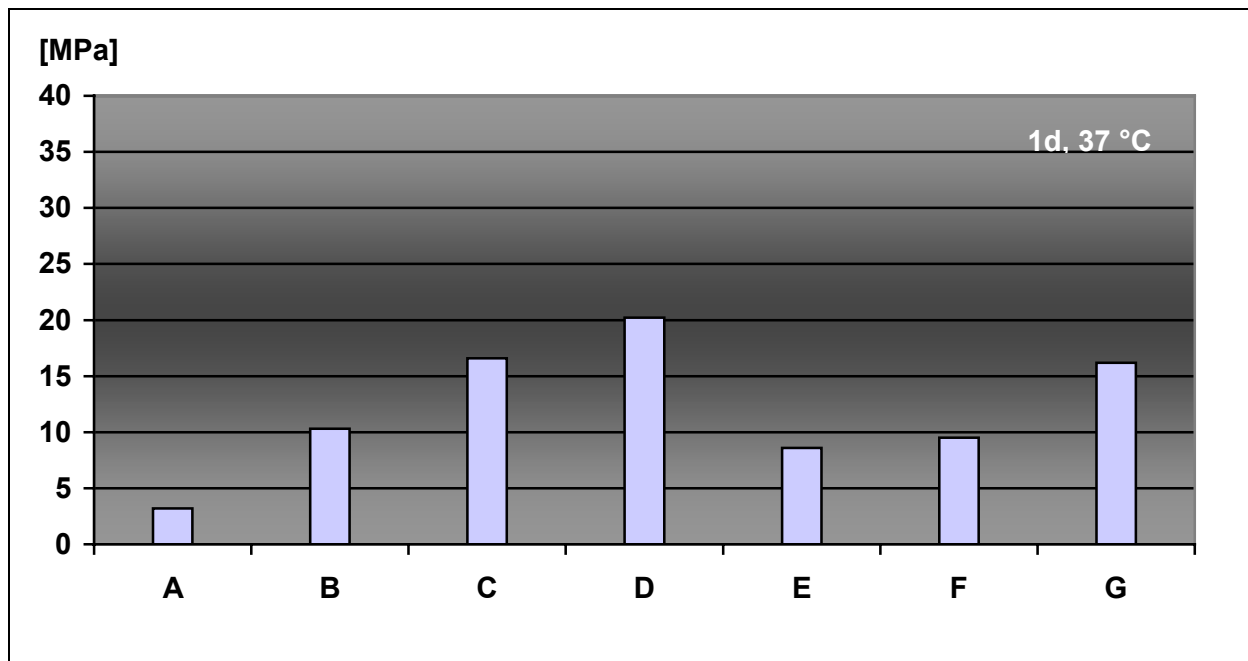


Abb. 26: Scherhaftfestigkeit von Sculpture und Estenia mit verschiedenen Bonding-Systemen und Reparaturkompositen als Maß für die Reparaturfestigkeit
A: Sculpture - Conquest Sculpture Bonding - Reparatur mit Sculpture, **B: Sculpture** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Sculpture, **C: Sculpture** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Gradia, **D: Sculpture** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Sinfony, **E: Estenia** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Estenia, **F: Estenia** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Gradia, **G: Estenia** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Sinfony

Nach Reparatur von Sculpture mit Conquest Sculpture Bonding und Sculpture fanden sich mit 3,2 MPa die schlechtesten Scherhaftfestigkeitswerte (Abb. 26). Wurde statt dessen das Dentacolor Bonding verwendet, stiegen die Haftfestigkeitswerte um den Faktor 3 an. Auch Gradia und Sinfony eigneten sich in Kombination mit Dentacolor Bonding zur Reparatur von Sculpture. Hier wurden mit 16,6 MPa und 20,2 MPa signifikant höhere Verbundwerte als nach Verwendung von Sculpture zur Reparatur erzielt.

Wurde Estenia mit Estenia bzw. Gradia und Dentacolor Bonding als Haftvermittler repariert, so zeigten sich vergleichbar gute Scherhaftfestigkeiten wie nach Reparatur von Sculpture mit Dentacolor Bonding und Sculpture. Mit Sinfony als Reparaturmaterial und Dentacolor Bonding auf Estenia entstand mit 16,2 MPa analog zu Sculpture der widerstandsfähigste Verbund.

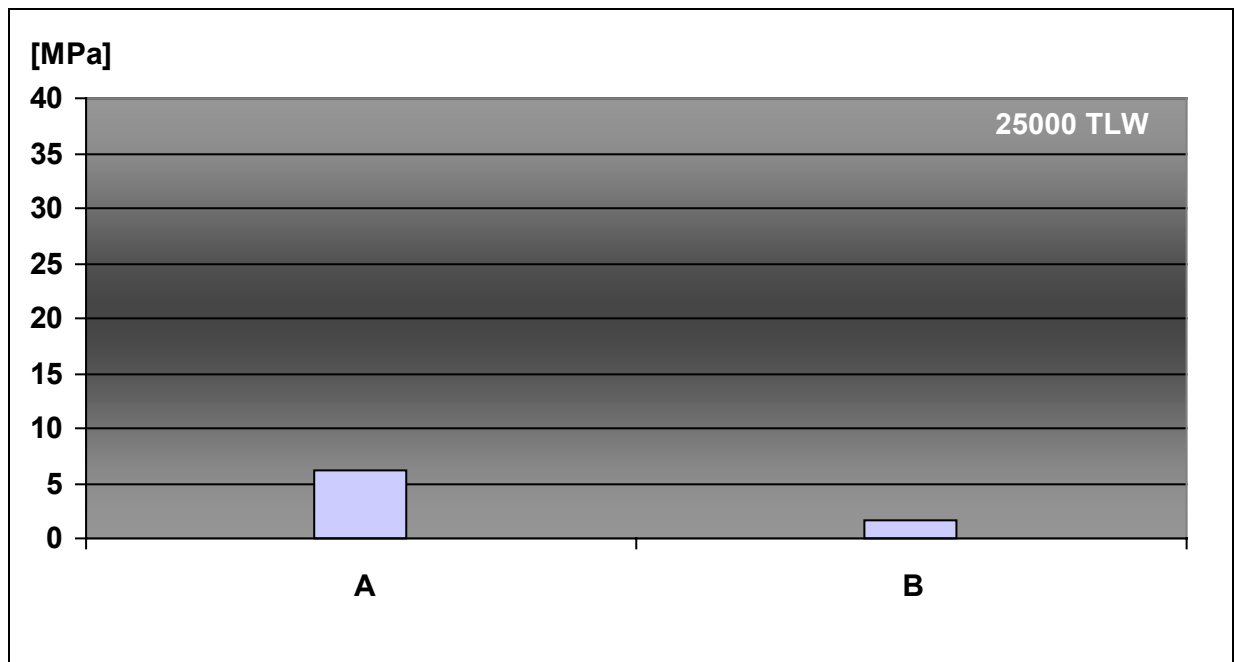


Abb. 27: Scherhaftfestigkeit nach 25000 TLW von Sculpture und Estenia nach Reparatur mit Dentacolor Bonding und Sinfony
A: Sculpture - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Sinfony, **B: Estenia** - Dentacolor Bonding - Reparatur mit Sinfony

Nach Stressung war ein deutlicher Rückgang der Verbundfestigkeit der Verbundkörper Sculpture - Dentacolor Bonding - Sinfony auf 6,1 MPa und der Estenia - Dentacolor Bonding - Sinfony - Kombination auf 1,6 MPa zu verzeichnen (Abb. 27). Beide Kombinationen unterschieden sich signifikant.

5.7 Gefügefehler

Nach Schliff der Werkstoffprüfkörper aus den neuen Verblendkompositen Sculpture, Estenia und Gradia konnten unter dem Rasterelektronenmikroskop erst bei 1000facher Vergrößerung deutliche Unterschiede im Aufbau der Materialien festgestellt werden. Bei 100facher Vergrößerung wurden lediglich oberflächliche Schleifspuren sichtbar, die bei Sculpture stärker ausgeprägt waren. Während Sculpture (Abb. 30) bei 1000facher Vergrößerung durch ein relativ homogenes Oberflächengefüge gekennzeichnet war, zeigte Gradia (Abb. 29) eine feinporige und zudem inhomogenere Oberfläche. Auch Estenia (Abb. 28) zeigte ein inhomogenes, jedoch grobporiges Werkstoffgefüge.

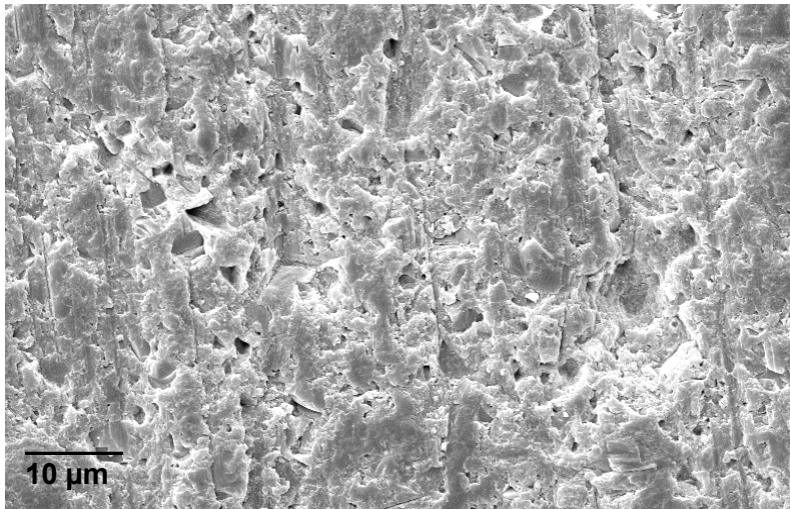


Abb. 28: Estenia – REM-Aufnahme der Schlifffläche

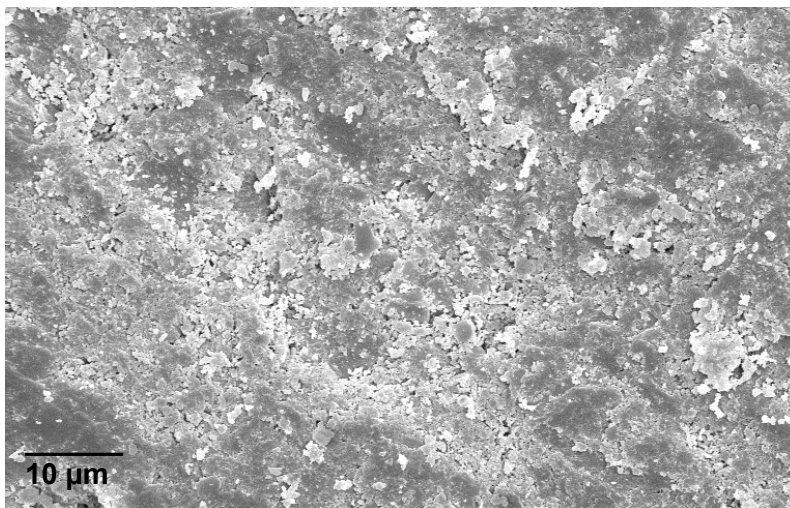


Abb. 29: Gradia – REM-Aufnahme der Schlifffläche

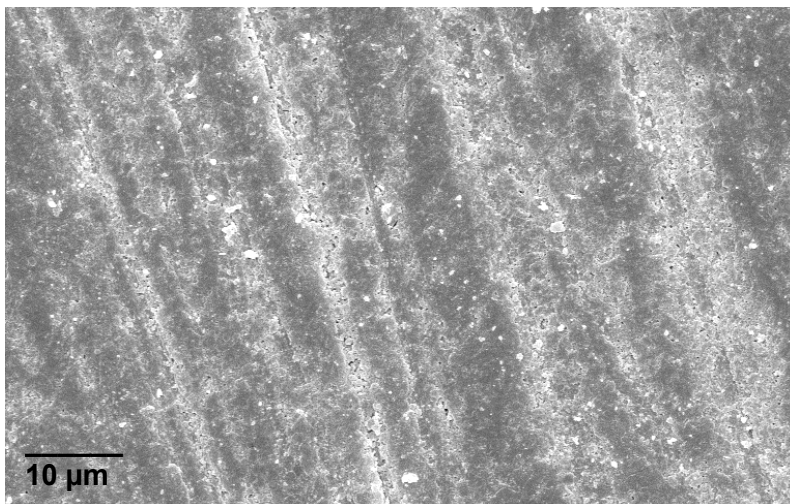


Abb. 30: Sculpture – REM-Aufnahme der Schlifffläche

5.8 Durchhärtungstiefe

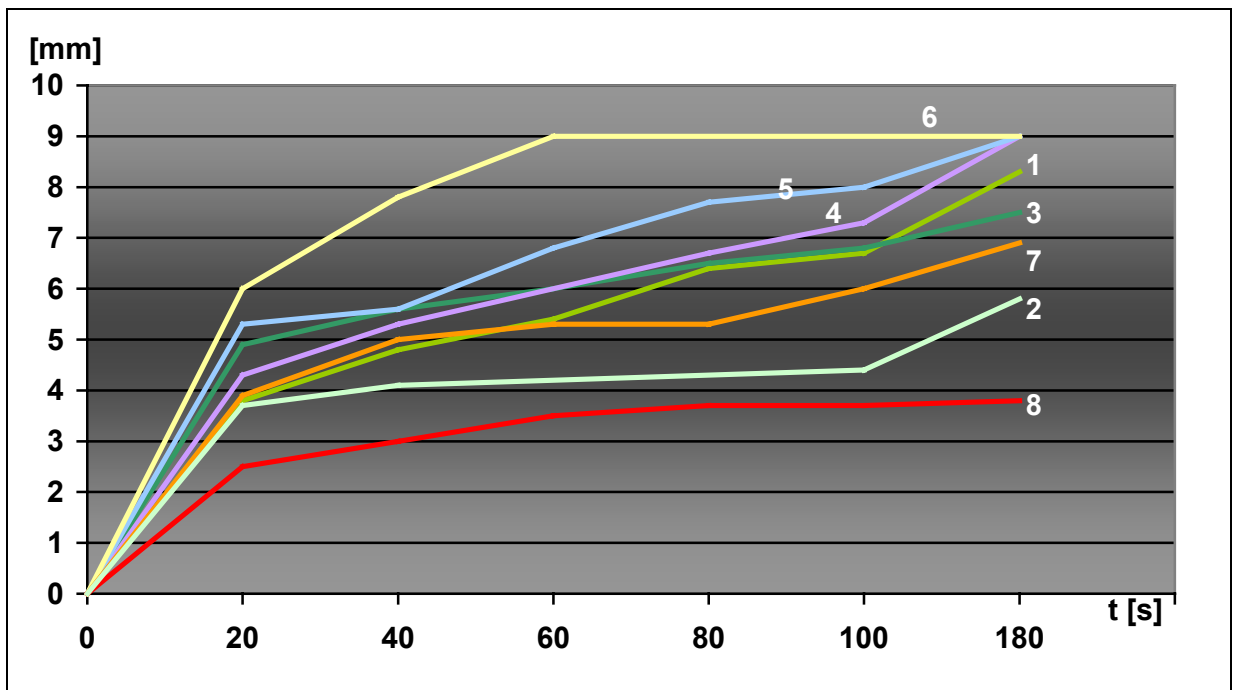


Abb. 31: Durchhärtungstiefe der Verblendkomposite in [mm] nach schrittweiser Belichtung in [s]

1: Artglass, 2: Estenia, 3: Gradia, 4: Sculpture, 5: Signum, 6: Sinfony, 7: Solidex, 8: Targis

Nach 20 s Belichtung der 9 mm tiefen Teflonform konnte bei keinem der untersuchten Materialien eine vollständige Durchhärtung erzielt werden (Abb. 31). Das Referenzkomposit Sinfony (SN) zeigte im Vergleich zu den anderen Verblendkompositen nach 20 s eine durchgehärtete Schicht von bereits 6 mm, sowie eine völlige Polymerisation nach 60 s. Mit Ausnahme von Sculpture (SC) und Signum (SG), welche nach 180 s vollständig gehärtet werden konnten, wurden alle übrigen Komposite bezogen auf die 9 mm tiefe Form nur annähernd bzw. nicht durchgehärtet. Während Estenia (ES) und Targis (TA), die einem nach Herstellerangaben speziellen Polymerisations- und Vergütungsverfahren unterliegen, unter den gegebenen Versuchsbedingungen die geringsten Durchhärtungstiefen erreichten, also noch die Chance einer weiteren Verbesserung haben, war Sculpture (SC), das nicht „vergütet“ wurde, nach 180 s durchgehärtet.

5.9 Wasseraufnahme

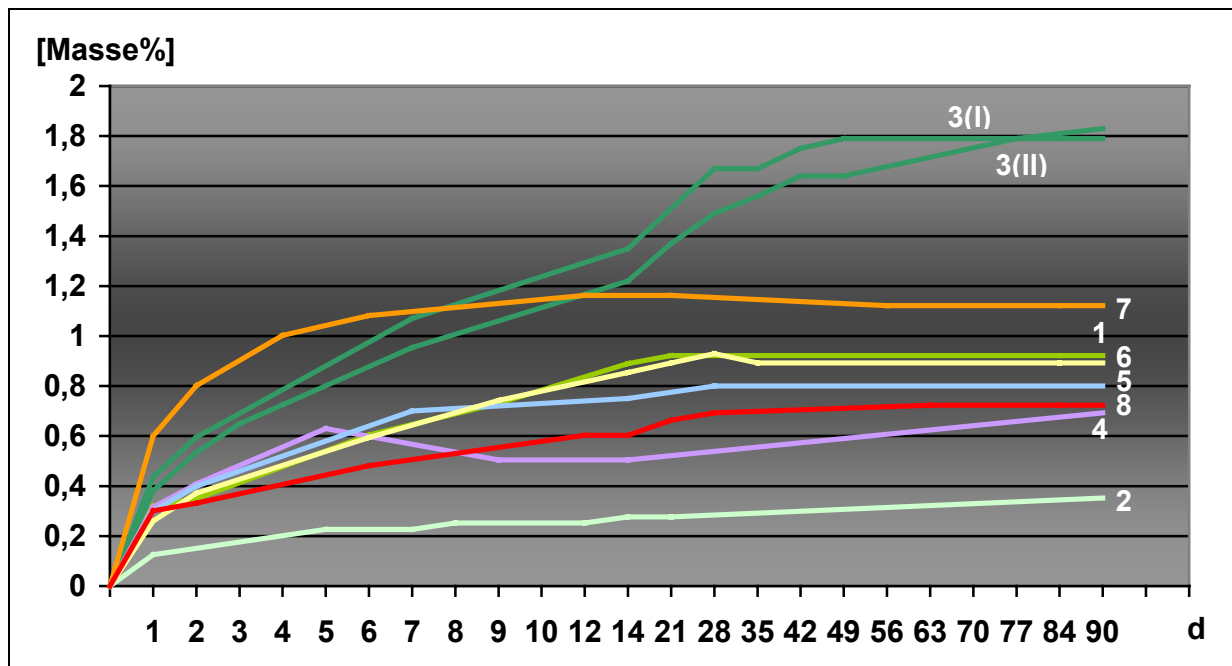


Abb. 32: Wasseraufnahme der Verblendkomposite bis zur Sättigung in [Masse%]

1: Artglass, 2: Estenia, 3(I): Gradia, 3(II): Gradia mit Seitenrandpolitur,
4: Sculpture, 5: Signum, 6: Sinfony, 7: Solidex, 8: Targis

Die Wasseraufnahme bis zur Sättigung als Ausdruck der Stabilität/Instabilität eines Materials wird in Abbildung 32 gezeigt. Gradia I (GR) und Gradia II (GR), welche sich lediglich in der Bearbeitung der Prüfkörper unterschieden (Gradia II: zusätzliche Prüfkörper-Randpolitur mittels Super Snap Scheiben grün/rosa) zeigten mit Abstand die größte Wasseraufnahme nach 90tägiger Wasserlagerung $\geq 1,8$ Masse%. Die Politur der Prüfkörper-Seitenränder führte zu keiner Verbesserung.

Ein ähnliches Verhalten zeigten Solidex (SO) mit einer Gewichtszunahme von 1,12, Artglass (AG) mit 0,92, Sinfony (SN) mit 0,89 und Signum (SG) mit 0,8 Masse%. Targis (TA) und Sculpture (SC) wiederum konnten mit 0,72 und 0,69 % Gewichtszunahmen einander gleichgesetzt werden und reagierten weniger auf das Milieu als die anderen Komposite. Der mit Abstand beständigste Werkstoff in Bezug auf die Wasseraufnahme war das neue Verblendkomposit Estenia (ES) mit 0,35 % Gewichtszunahme nach 90tägiger Lagerung in aqua dest. bei 37 °C.

5.10 Polymerisationsschrumpfung

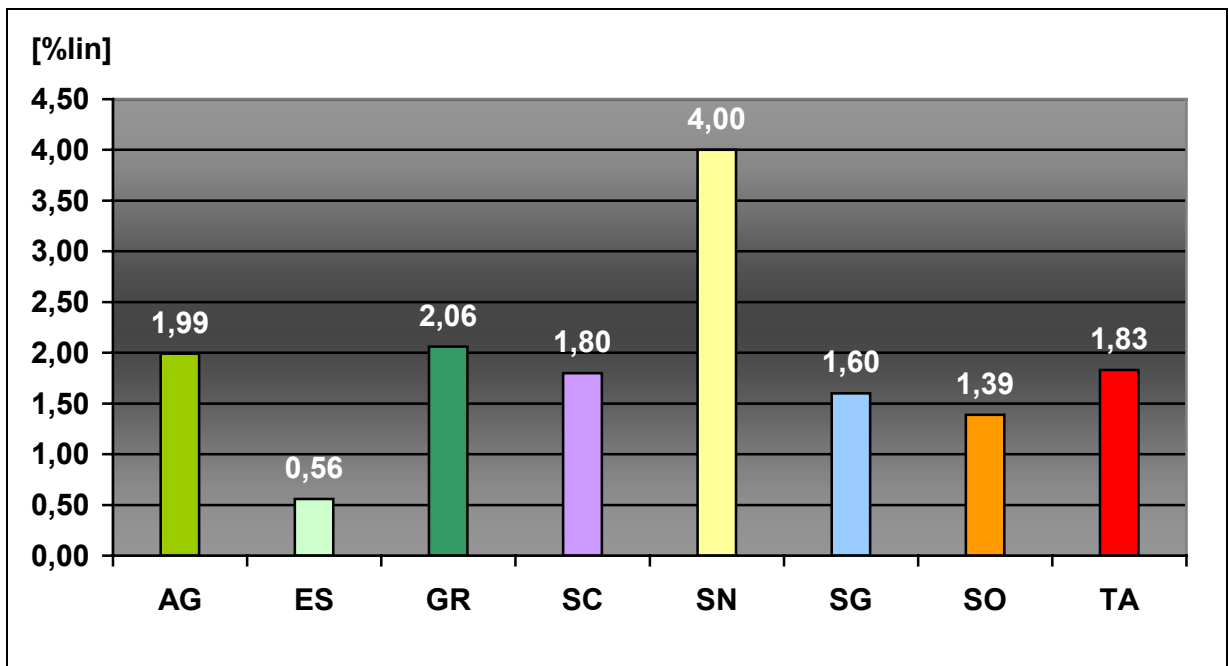


Abb. 33: Polymerisationsschrumpfung der Verblendkomposite in [%lin]

Das Feinstpartikelhybridkomposit Sinfony (SN) mit einem Füllstoffgehalt von nur 50 Gew.% zeigte mit einer Polymerisationsschrumpfung von 4 %lin eine mehr als doppelt so große Kontraktion wie die übrigen Komposite (Abb. 33). Während die durchschnittliche Polymerisationsschrumpfung der untersuchten Materialien bei 1,8 %lin lag und nur Solidex (SO) signifikant weniger schrumpfte als Artglass (AG), Gradia (GR), Sculpture (SC), Sinfony (SN) und Targis (TA), wurde für Estenia die geringste Volumenänderung mit 0,56 %lin Schrumpfung ermittelt.

5.11 Exogene Verfärbungsneigung

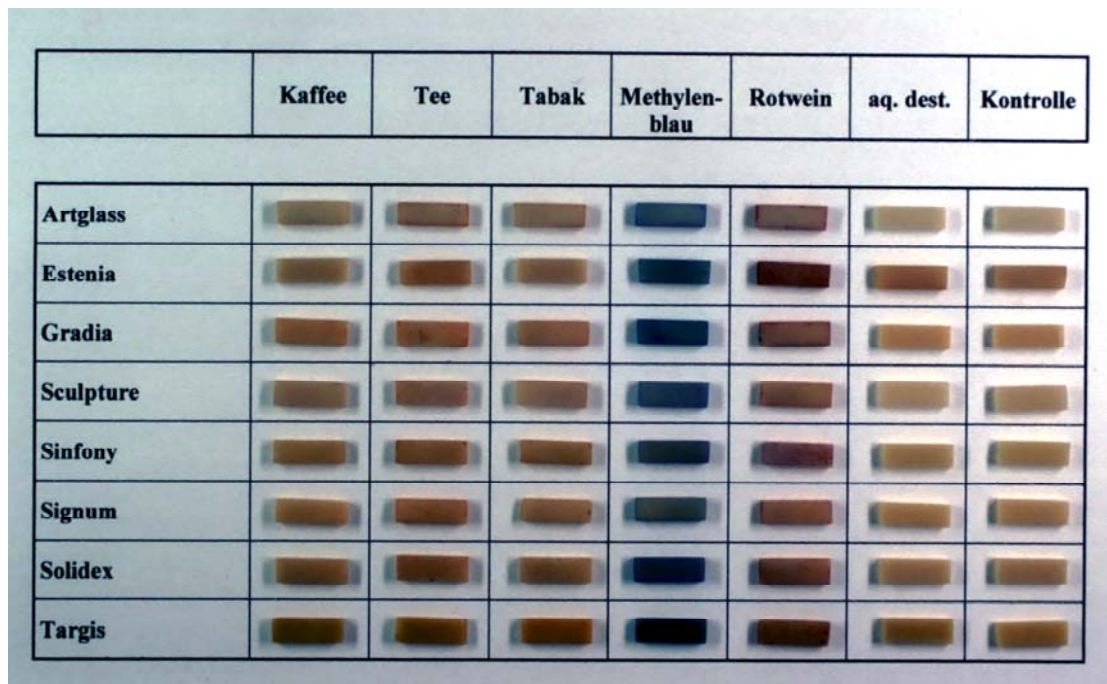


Abb. 34: Verfärbte Prüfkörper nach Lagerung in den unterschiedlichen Medien

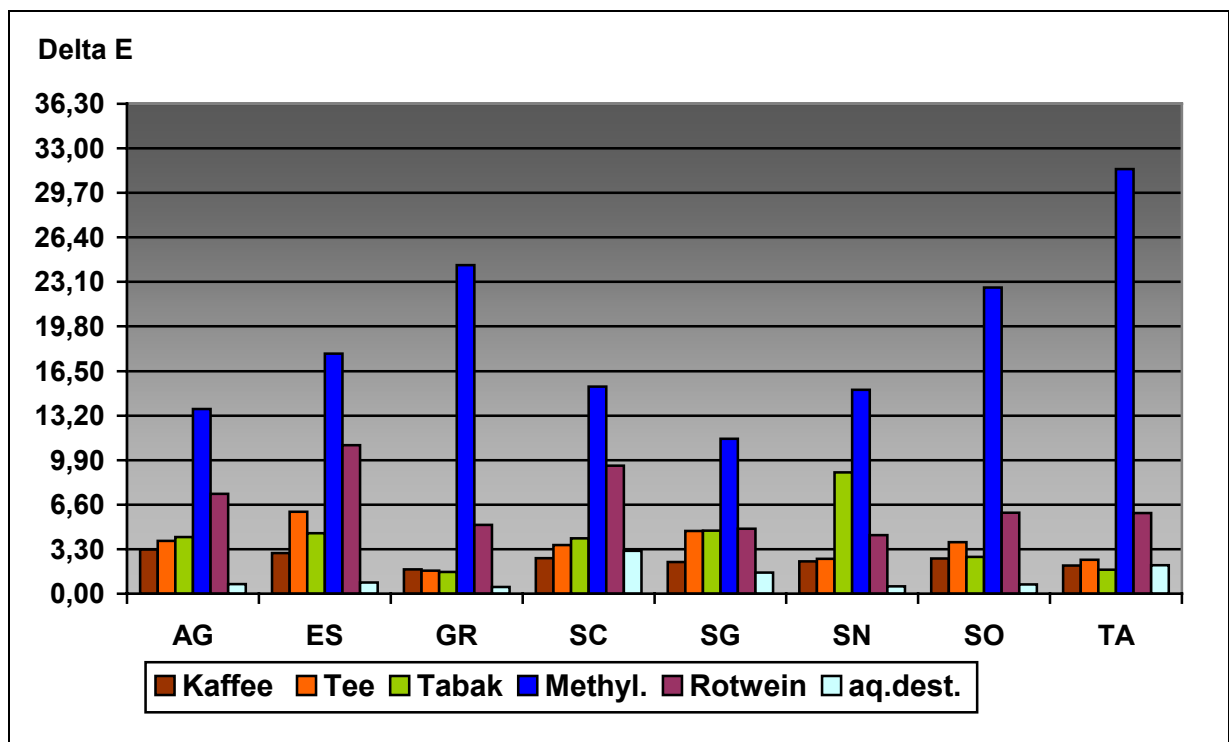


Abb. 35: ΔE -Werte als Maß für den Verfärbungsgrad der Verblendkomposite nach Lagerung in färbenden Medien

Die Ergebnisse der exogenen Verfärbung sind in Abbildung 34 und 35 zusammengefasst. Für die in dest. Wasser gelagerten Prüfkörper wurden Werte für ΔE von 0,50 (GR) bis 3,17 (SC) ermittelt. Bei subjektiver Beurteilung durch 7 normalsichtige Testpersonen wurden für diese Prüfkörper keine sichtbaren Verfärbungen festgestellt, was einem mittleren Verfärbungsgrad V von 0,56 entspricht. Die in Kaffee gelagerten Prüfkörper ließen eine schwache Verfärbung erkennen, was mit ΔE -Werten von 1,80 (GR) bis 3,28 (AG) und einem durchschnittlichen V-Wert von 1,13 korrelierte. Prüfkörper, welche in Rotwein aufbewahrt wurden, waren entsprechend der ΔE -Werte von 4,34 (SN) bis 11,02 (ES) deutlich bis stark verfärbt, was sich auch in einem durchschnittlichen V-Wert von 3,03 widerspiegelte. Nach Lagerung der Komposit-Prüfkörper in Tee wurden schwache bis deutliche Verfärbungen sichtbar, was mit ΔE -Werten von 1,70 (GR) bis 3,91 (AG) und einem durchschnittlichen V-Wert von 1,61 einherging. Während die im Tabaksud aufbewahrten Proben subjektiv als schwach verfärbt beurteilt wurden und ein mittlerer Verfärbungsgrad V von 1,71 berechnet wurde, wurden im Widerspruch dazu ΔE -Werte bis zu 8,99 ermittelt. Starke Verfärbungen der in Methylenblau gelagerten Prüfkörper kamen in ΔE -Werten von $> 11,49$ und einem mittleren Verfärbungsgrad V von 8,08 zum Ausdruck.

Anhand der eigenen Messergebnisse und der Literaturangaben (siehe 6.11.1) wurde $\Delta E = 3,3$ als Wahrnehmungsgrenze für sichtbare Verfärbungen definiert.

Der künstliche Farbstoff Methylenblau zeigte im Vergleich zu den übrigen, klinisch relevanten Färbemedien wie Kaffee, Tee, Tabak und Rotwein, mit ΔE -Werten ≥ 10 mit Abstand das größte Verfärbungsvermögen.

Die Lagerung in dest. Wasser war mit keiner sichtbaren Farbänderung verbunden. Die exogene Verfärbungsneigung der untersuchten Verblendkomposite ist unter Berücksichtigung der ΔE -Werte aller färbenden Medien in aufsteigender Rangfolge folgende: Gradia, Targis, Solidex sowie Signum, Sinfony, Artglass, Sculpture und Estenia, welche ähnlich hohe Verfärbungsgrade aufwiesen.

Werden die Einzelwerte ΔL , Δa und Δb , aus denen sich der Farbabstand ΔE berechnen lässt, betrachtet, so konnte für die in Kaffee, Tee, Tabak und Rotwein gelagerten Proben eine vorrangige Farbtonveränderung auf der Schwarz-Weiß-Achse in Richtung Schwarz verzeichnet werden, was sich in negativen ΔL -Werten äußerte. Die Proben wurden demnach dunkler. Der Einfluss von Δa (Farbveränderung auf der Rot-Grün-Achse) und Δb (Farbveränderung auf der Blau-Gelb-Achse) auf den Farbabstand ΔE war vergleichbar geringer. Eine Farbverschiebungstendenz in Richtung

Rot auf der Rot-Grün-Achse, sowie in Richtung Gelb auf der Blau-Gelb-Achse war bei den meisten Probenkörpern auffallend. Die in Methylenblau gelagerten Prüfkörper erschienen nach der Lagerung sichtbar blauer, $\Delta b < 0$. Der Einfluss von Δb auf den Farbunterschied ΔE zeigte sich hier am deutlichsten.

5.12 Entfärbungs- und Reinigungsmöglichkeit nach Lagerung in färbenden Medien

Die subjektive Auswertung gereinigter Prüfkörper durch 9 normalfarbsichtige Personen bestätigte die unter 5.11 festgelegte Wahrnehmungsgrenze ΔE von 3,3. Im Übergangsbereich mit ΔE -Werten zwischen 3,0 und 4,0 wurden nur in wenigen Ausnahmefällen von dieser Wahrnehmungsgrenze abweichende Angaben zum Verfärbungsgrad gemacht. Demnach gilt (siehe auch 6.11.1):

$\Delta E < 3,3$ „nicht sichtbare“ bzw. „gerade sichtbare“ Verfärbung

$\Delta E \geq 3,3$ „deutlich sichtbare“ Verfärbung

$\Delta E \geq 10,0$ „starke“ Verfärbung.

Nicht alle Verblendkomposite zeigten nach 4wöchiger Kaffeelagerung nachweisliche Verfärbungen. Methylenblau und Rotwein führten dagegen immer zu Verfärbungen. Die Verfärbungswirkung des Rotweins war stärker als die des Kaffees.

5.12.1. Reinigung mittels Ultraschallreinigern

Die Ultraschallreiniger VOCO UL 10 und elma clean 35 vermochten nach 3minütiger Anwendung im Sonorex TK 30 - Gerät lediglich Targis und/oder Sinfony in Abhängigkeit von der vorangegangenen Lagerung zu reinigen. Eine Steigerung der ΔL - und Δb -Werte in positiver Richtung (heller, gelber) war nach Mehrfachanwendung metrisch nachweisbar.

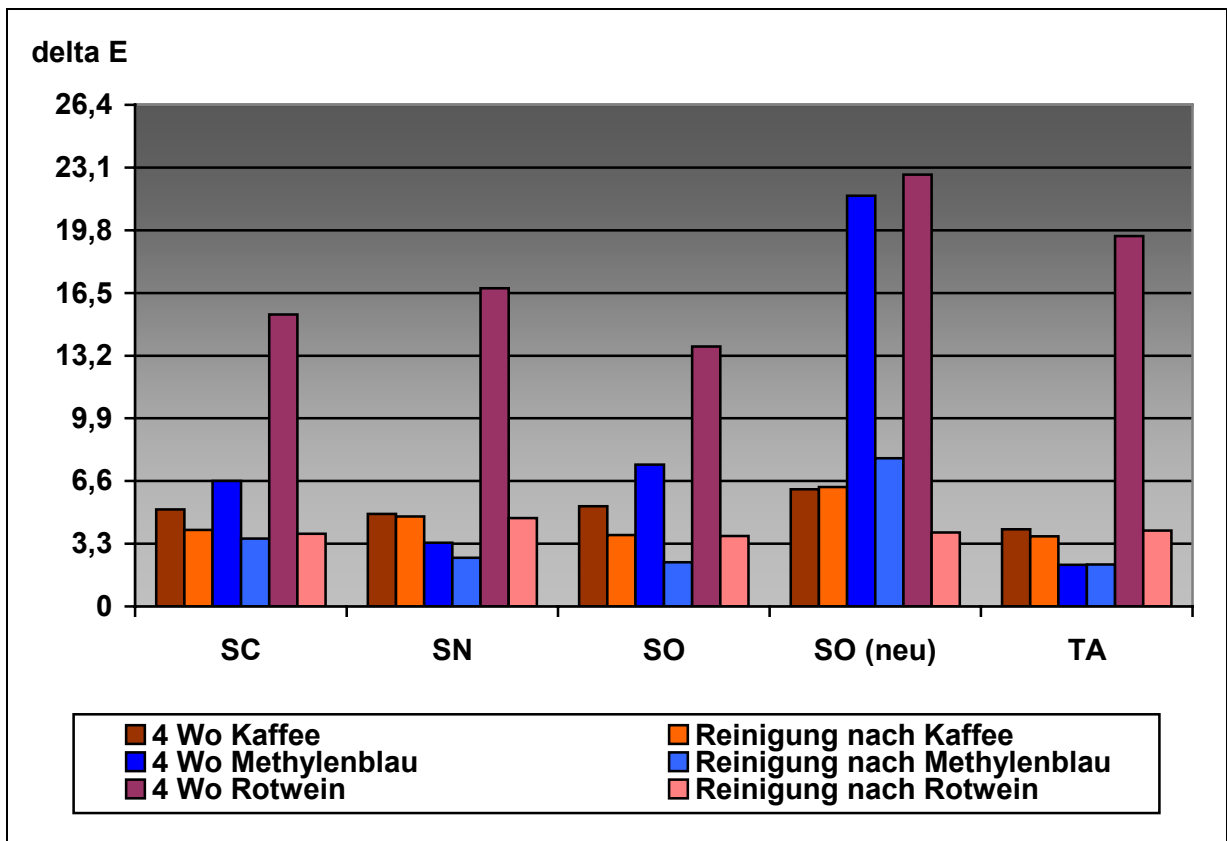


Abb. 36: Ultraschallreinigung mittels **VOCO UL 10** nach 4wöchiger Probenlagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für die Verfärbungsneigung

Die geringste Verfärbungstendenz zeigte Targis nach Lagerung in Kaffee bzw. Methylenblau, sowie Solidex nach Lagerung in Rotwein, wie in Abbildung 36 dargestellt. Diese Materialien ließen sich auch am besten reinigen. VOCO UL 10 führte nach Mehrfachanwendung, d.h. nach mindestens 18minütigem Reinigungsvorgang, sowohl bei den durch Kaffee verfärbten, als auch bei den durch Rotwein verfärbten Prüfkörpern zu einer sichtbaren „Aufhellung“ mit ΔE -Werten $\geq 3,3$. Die Ursache dafür war die Steigerung der ΔL -Werte. Die Mehrfachanwendung von elma clean 35 führte nur bei in Kaffee gelagerten Sinfony, Solidex (neu) und Targis zu einer deutlichen Steigerung der ΔL - und Δb -Werte, was mit einer „Aufhellung“ und „Gelbverfärbung“ einherging. Bei allen in Rotwein gelagerten Prüfkörpern wurde der Δa -Wert durch die Reinigung deutlich beeinflusst. Kam es zu stark positiven Δa -Werten, d.h. zu einer Rotverschiebung, so wurde durch beide Ultraschallreiniger eine Neutralisierung bzw. leichte Grünverschiebung auf der Rot-Grün-Achse erreicht. Keiner der beiden Ultraschallreiniger vermochte Solidex (neu) nach Methylenblaulagerung zu entfärben. Die anderen Verblendmaterialien ließen sich durch Mehrfachanwendung reinigen.

5.12.2 Nadelstrahlreinigung

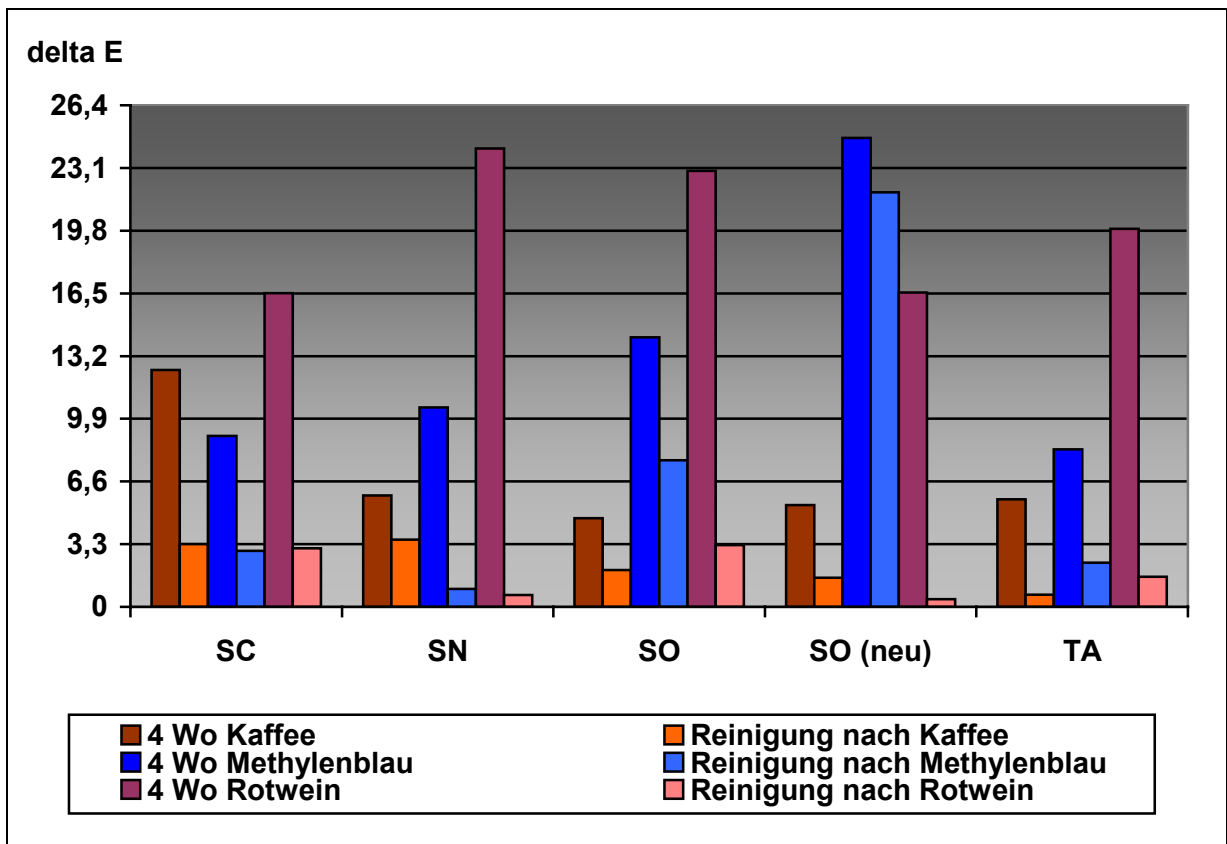


Abb. 37: Nadelstrahlreinigung (Verfahren B) der Verblendkomposite nach Lagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad

Beide Nadelstrahlverfahren sind gleichermaßen für die Säuberung der unterschiedlich gelagerten Kompositprüfkörper geeignet. Die Ergebnisse des Verfahrens B finden sich in Abbildung 37. Mit Ausnahme der in Methylenblau gelagerten Proben aus Solidex und Solidex (neu), zuzüglich Sculpture bei Verfahren A, wurde in jedem Fall eine Reinigung, $\Delta E \leq 3,3$, nicht jedoch eine Aufhellung erzielt. Nach Kaffeelagerung war Solidex weniger verfärbt als die anderen Verblendkomposite. Targis wiederum zeichnete sich nach Lagerung in Methylenblau bzw. Rotwein durch eine geringere Verfärbungsneigung aus. Gleiches gilt für Sculpture nach Lagerung in Rotwein. Symphony und Targis ließen sich gut reinigen. Dies trifft auch auf Sculpture unabhängig von der Lagerung zu ($\Delta E \leq 3,3$). Die Parameter ΔL , Δa , Δb übten einen vergleichbaren Einfluss auf ΔE aus.

5.12.3 Tablettenreinigungslösungen

Nach einem Tag in Reinigungslösung konnten mit Ausnahme der durch Methylenblau verfärbten Proben ($\Delta E \leq 3,3$ für Targis mit Corega tabs und Kukident aktiv 3 möglich), sowie der in Rotwein gelagerten und mit Kukident intensiv gereinigten Proben ΔE -Werte $\leq 3,3$ erzielt werden, d.h. in diesen Fällen lag keine deutlich sichtbare Verfärbung mehr vor. Eine Reinigung bzw. Entfärbung der durch Kaffee und Rotwein verfärbten Kompositproben fand nach 10 Tagen in den verschiedenen Reinigungsbädern statt, eine sichtbare Aufhellung hingegen war nicht zu verzeichnen.

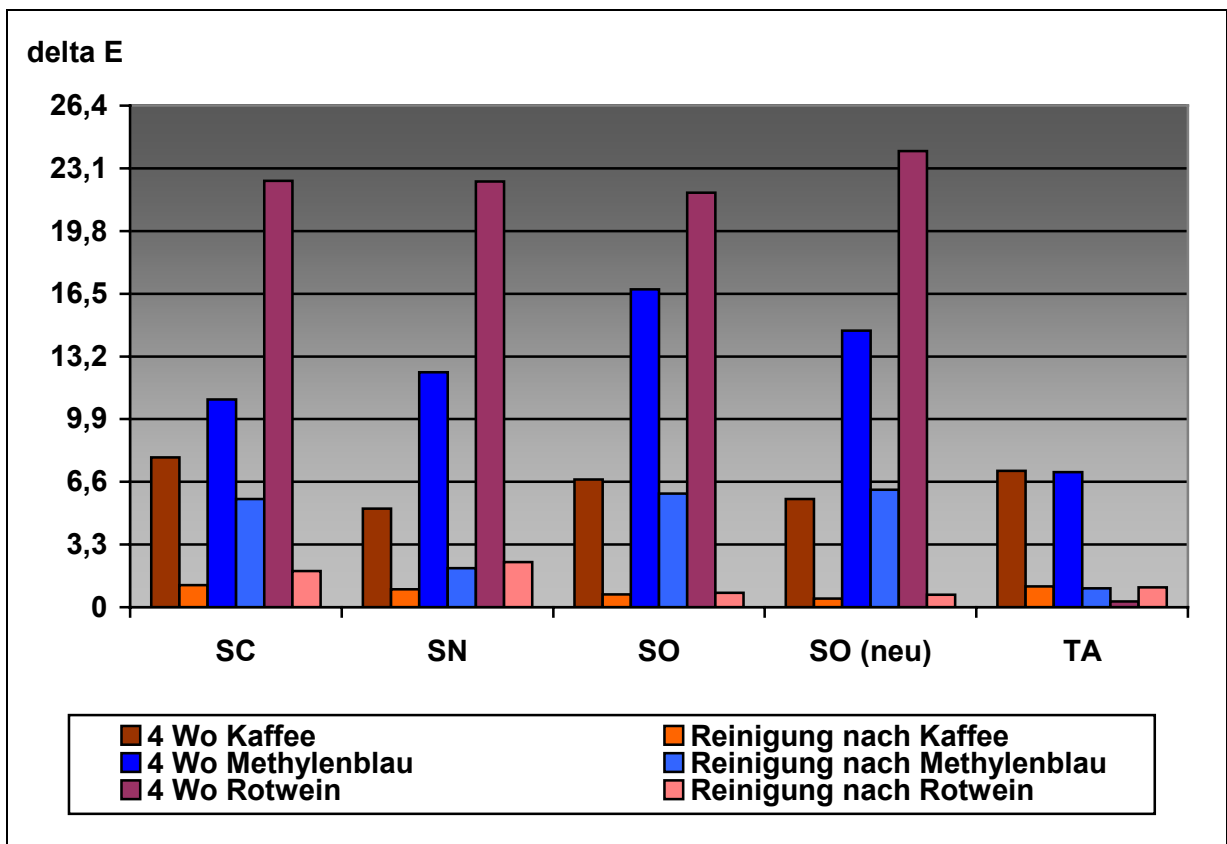


Abb. 38: Reinigung mittels **Prothesenreiniger Kukident aktiv 3** nach Lagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad

Ergebnisse nach Lagerung in Kaffee - Reinigung mit Tablettenreinigungslösungen

Die an den ΔE -Werten orientierte Rangfolge der in Kaffee gelagerten Komposite veränderte sich nach 10tägiger Lagerung in den Reinigungsflüssigkeiten, d.h. die Verfärbungsneigung und der Reinigungseffekt waren nicht zwingend identisch. Während Targis und Sinfony die geringste Verfärbungsneigung in Verbindung mit bester Reinigung aufwiesen, zeigte auch Solidex (neu) trotz stärkerer Verfärbung eine sehr gu-

te Hygienisierbarkeit. Unter Berücksichtigung der L a b - Daten entstand nach Reinigung der durch Kaffee verfärbten Werkstoffproben mittels Tablettenreinigungslösungen die deutlichste Beeinflussung des ΔE -Wertes durch den Parameter ΔL . Eine Werteververschiebung in Richtung Weiß auf der Schwarz-Weiß-Skala war kennzeichnend. Zudem war bei Sinfony, Targis und Solidex (neu) durch die blend-a-dent-Reinigungslösung, sowie bei Sinfony durch Kukident intensiv eine stärkere Gelbverschiebung der Δb -Werte auf der Blau-Gelb-Achse zu verzeichnen. Die niedrigsten ΔE -Werte wurden für die Verblendkomposite Sculpture, Solidex und Solidex (neu) mit Kukident aktiv 3 (Abb. 38), für Sinfony mit blend-a-dent und für Targis mit Corega tabs dental weiß ermittelt. Da alle Reinigungstablettenlösungen nach Kaffeelagerung zu ΔE -Werten unter 3,3 führten, befinden sich auch alle Verschiebungen im dreidimensionalen Farbraum im nicht sichtbaren Bereich und waren nur durch die metrische Erfassung erkennbar.

Ergebnisse nach Lagerung in Methylenblau - Reinigung mit Tablettenreinigungslösungen

Nach 4wöchiger Lagerung in Methylenblau war eine deutliche Verfärbung aller Prüfkörper zu verzeichnen. Nach 1 Tag im Reinigungsbad konnten Targis und Sinfony mit Corega tabs, sowie Targis mit Kukident aktiv 3 auf ΔE -Werte unter 3,3 gebracht werden. Alle übrigen Reinigungslösungen zeigten nach 1tägiger Anwendung keinen nachweislichen Effekt. Nach 10 Tagen Einwirkung vermochten alle Tablettenreiniger Targis zu säubern. Mit Protefix und blend-a-dent ließen sich für Sculpture und Sinfony nach 10 Tagen ebenso ΔE -Werte $\leq 3,3$ erreichen, für Sinfony auch mit Kukident intensiv. Die übrigen Proben konnten nicht entfärbt werden, d.h. trotz einer tendenziellen Verschiebung der L a b - Daten in Richtung positiver Werte (heller, roter, gelber) lagen die verbliebenen Verfärbungen im deutlich sichtbaren Bereich. Von der Reinigung wurden am stärksten die ΔL - und Δb -Werte beeinflusst, was sich in einer Verschiebung der Werte in Richtung Weiß und Gelb äußerte. Die geringste Verfärbungstendenz in Kombination mit bester Reinigungsmöglichkeit zeigte Targis. Der niedrigste ΔE -Wert wurde für Targis durch Kukident aktiv 3 erreicht.

Ergebnisse nach Lagerung in Rotwein - Reinigung mit Tablettenreinigungslösungen

Mit Ausnahme der im Kukident intensiv - Bad gelegenen Prüfkörper konnte für alle Verblendkomposite nach 1 Tag im Reinigungsbad eine sichtbare Entfärbung mit $\Delta E \leq 3,3$ registriert werden. Targis und Solidex besaßen die geringste Verfärbungsneigung, Solidex (neu) hingegen ließ sich mit allen Reinigungslösungen am besten reinigen. Während mit Corega tabs, Corega tabs dental weiß und Protefix eine Verschiebung der ΔL -Werte in Richtung Weiß, sowie der Δb -Werte in Richtung Gelb zu verzeichnen war, kam es bei den übrigen Reinigern nur zu einer ΔL -Verschiebung in Richtung Weiß. Da Targis eine durch die Reinigung herbeigeführte größere Verschiebung der Δb -Werte in Richtung Gelb erfuhr, kamen auch höhere ΔE -Werte nach 10tägiger als nach 1tägiger Lagerung im Reinigungsbad zustande. Für das menschliche Auge befanden sich die genannten Verschiebungen allerdings im nicht sichtbaren Bereich.

5.12.4 mechanische Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Reinigern

Ergebnisse nach Lagerung in Kaffee - Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Reinigern

Sculpture, Sinfony, Solidex und Targis wurden nicht in jedem Fall durch 4wöchige Lagerung in Kaffee deutlich verfärbt. Targis besaß dabei die geringste Verfärbungsneigung. Solidex war auch nach deutlicher Verfärbung durch Kaffee am besten zu säubern. Die hohen Δb -Werte (Gelbverschiebung) nach Lagerung in Kaffee waren nur schwer durch elektrische Zahnbürste und Reiniger beeinflussbar. Sinfony konnte mittels elektrischer Zahnbürste, Corega 1 Minute oder blend-a-dent Hygienic nur schwierig gesäubert werden, wohingegen eine „Aufhellung“ durch Mehrfachanwendung von Sidol, Colgate sensation white (Abb. 39) bzw. blend-a-med Kariosan zu verzeichnen war. ΔE -Werte $\geq 3,3$ waren dabei kennzeichnend, die Steigerung der ΔL -Werte stand im Vordergrund. Die alleinige Anwendung von elektrischer Zahnbürste bzw. in Kombination mit Corega 1 Minute oder blend-a-dent Hygienic zeigte bei allen Verblendkompositen keine aufhellende Wirkung, jedoch war auch das Reinigungsvermögen begrenzt. Durch blend-a-med Kariosan erfolgte keine „Entfärbung“ von Sculpture. Solidex (neu) besaß die größte Verfärbungsneigung und war nur mit Sidol, Colgate sensation white bzw. blend-a-med Kariosan zu reinigen.

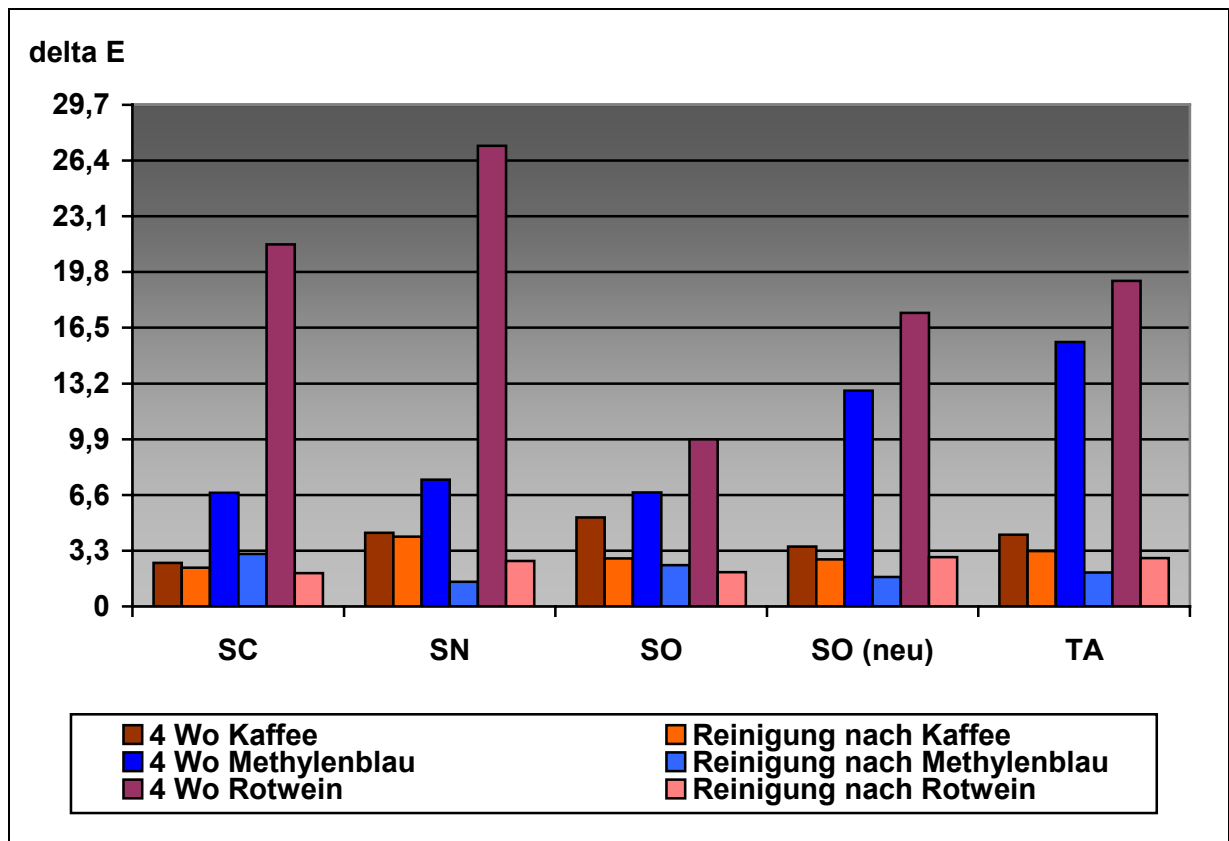


Abb. 39: Reinigung mittels **elektrischer Zahnbürste und Colgate sensation white** nach 4wöchiger Probenlagerung in den färbenden Medien Kaffee, Methylenblau und Rotwein - ΔE als Maß für den Verfärbungsgrad

Ergebnisse nach Lagerung in Methylenblau - Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Reinigern

Gegenüber Methylenblau besaß Sinfony die geringste Verfärbungsneigung. Die Reinigung erfolgte bereits nach 2minütiger Anwendung sowohl durch die elektrische Zahnbürste, als auch in Kombination mit allen Reinigern bzw. Zahnpasten. Eine Aufhellung wurde nach Mehrfachanwendung ausgeschlossen. Solidex (neu) konnte nur mittels Sidol oder Colgate sensation white entfärbt werden. Sculpture hingegen ließ sich nach mehrfacher Anwendung von Sidol aufhellen. Durch die Reiniger bzw. Zahnpasten kam es zu einer Verschiebung der Δb -Werte in Richtung Neutral/Gelb. Eine Aufhellung der untersuchten Verblendkomposite nach Reinigung mit Colgate sensation white unterblieb.

Ergebnisse nach Lagerung in Rotwein - Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Reinigern

Bei den durch Rotwein verfärbten Proben kam es nach einer ersten, 2minütigen Reinigung zu einer deutlichen Verschiebung der Δa -Werte in Richtung Neutral/Null bzw. Grün (negative Werte). Nach mehrfacher Reinigung wurde Δa nur noch geringfügig beeinflusst. Nach Mehrfachanwendung der verschiedenen Reinigungsmittel zeigte i.d.R. ΔL , gefolgt von Δb den größten Einfluss auf den Farbunterschied ΔE . Sculpture und Solidex verfärbten sich durch Rotwein weniger stark als die übrigen Komposite. Die beste Reinigung fand sich bei Solidex. Allen in Rotwein gelagerten und mit blend-a-dent Hygienic gereinigten Prüfkörpern war eine Verschiebung der L a b - Werte von Dunkel-Rot-Gelb ($\Delta L < 0$, $\Delta a > 0$, $\Delta b > 0$) nach Hell-Grün-Blau ($\Delta L > 0$, $\Delta a < 0$, $\Delta b < 0$) gemeinsam. Sinfony war gegenüber den übrigen Materialien durch eine stärkere Verschiebung der ΔL -Werte in Richtung Hell nach Hygienisierung mittels Sidol, Corega 1 Minute und blend-a-dent Hygienic gekennzeichnet. Auch Solidex (neu) wies bei Verwendung der elektrischen Zahnbürste bzw. in Kombination mit Sidol diese Tendenz auf. Colgate sensation white und blend-a-med Kariosan bewirkten eine gute Säuberung der Kompositprüfkörper ohne sichtbare Aufhellung.

5.12.5. Bestimmung des arithmetischen Mittenrauwertes R_a als Maß für die Oberflächenrauigkeit nach Prüfkörperreinigung

Alle untersuchten Reiniger, also Lösungen von Prothesenreinigungstabletten, elektrische Zahnbürste mit Zahnpasten bzw. Reinigern und Nadelstrahlreinigungsverfahren, führten auf den verschiedenen Verblendkompositen zu einer Reduktion der Oberflächengüte (R_a nach Polymerisation unter Folie $< 0,1 \mu\text{m}$), jedoch in unterschiedlichem Ausmaß (Tab. 11).

Tab. 11: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in μm nach Reinigung verfärbter Kompositprüfkörper

Arithmetischer Mittenrauwert R_a	Sculpture	Sinfony	Solidex	Solidex (neu)	Targis
Elektr. Zahnbürste	0,19	0,08	0,15	0,17	0,13
Sidol	0,13	0,16	0,33	0,31	0,13
Corega 1 Minute	0,19	0,16	0,17	0,20	0,16
Blend-a-dent Hygienic	0,15	0,15	0,11	0,17	0,19
blend-a-med Kariosan	0,16	0,16	0,21	0,17	0,20
Colgate sensation white	0,19	0,20	0,15	0,21	0,18
Prothesenreiniger Bsp.: Corega tabs dental white	0,10	0,14	0,13	0,10	0,08
Nadelstrahlreinigung Verfahren A	0,17	0,10	0,19	0,19	0,13
Nadelstrahlreinigung Verfahren B	0,19	0,15	0,10	0,18	0,13

Auf Sculpture wurden Rauigkeiten zwischen $R_a \geq 0,1 \mu\text{m}$ und $< 0,2 \mu\text{m}$ festgestellt. Demnach war eine Verschlechterung der Oberflächengüte gegenüber dem Folienwert von $0,04 \mu\text{m}$ kennzeichnend. Der signifikant niedrigste Rauigkeitswert von $0,1 \mu\text{m}$ lag nach 10minütiger Reinigung in der Prothesenreinigungslösung vor. Nach Zahnbürstenreinigung mit Colgate sensation white wurde kein signifikant höherer R_a -Wert als bei den übrigen Zahnpasten bzw. dem Reinigungsschaum Corega 1 Minute bestimmt. An den mit Sidol gereinigten Prüfkörpern, mit Ausnahme von Solidex und Solidex (neu), wurden niedrigere R_a -Werte als nach alleiniger Zahnbürstenreinigung, Zahnbürstenreinigung mit Colgate sensation white oder Corega 1 Minute und Nadelstrahlreinigung gemessen. Die beiden Nadelstrahlverfahren unterschieden sich in ihrer Auswirkung nicht signifikant.

Die Oberflächengüte von Sinfony wurde sowohl durch die alleinige Zahnbürstenreinigung, als auch durch die Nadelstrahlreinigung Verfahren A gleichermaßen minimal beeinflusst, was sich in R_a -Werten von $0,08 \mu\text{m}$ und $0,1 \mu\text{m}$ zeigte. Nach Reinigung

mit elektrischer Zahnbürste und Colgate sensation white wurde die deutlichste Oberflächenverschlechterung festgestellt. Nach Corega-tab-dental-weiß-Reinigung wurden keine signifikant geringeren R_a -Werte als nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol, Corega 1 Minute, Blend-a-dent Hygienic bzw. blend-a-med Kariosan nachgewiesen.

Eine Aufrauung der Oberfläche wurde bei Solidex und Solidex (neu) besonders durch Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Sidol hervorgerufen. Während bei Solidex (neu) nach Reinigung in der Tablettenlösung signifikant niedrigere R_a -Werte als nach Reinigung mit den übrigen Reinigern vorlagen, traf dies nur eingeschränkt für die Solidexkörper zu. Die höheren Rauheitswerte beider Materialien nach Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Colgate sensation white, Blend-a-dent Hygienic bzw. blend-a-med Kariosan differierten mit Ausnahme der Solidex - Hygienic - Prüfkörper nur unwesentlich.

Bei Targis wurden die höchsten R_a -Werte nach Reinigung mit elektrischer Zahnbürste und Colgate sensation white, Blend-a-dent Hygienic bzw. blend-a-med Kariosan mit R_a -Werten $\geq 0,18 \mu\text{m}$ gefunden. Nach dem Einsatz der elektrischen Zahnbürste mit Sidol wurden signifikant ebenere Oberflächen als nach Anwendung von Reinigungsschaum oder Zahnpasten gemessen. Die Reinigungsverfahren elektrische Zahnbürste, elektrische Zahnbürste mit Sidol, sowie die Nadelstrahlreinigungsverfahren A und B hinterließen vergleichbar glatte Oberflächen. Die Hygienisierung mittels Prothesenreinigungslösung Corega tabs dental weiß beeinträchtigte die Oberflächengüte am wenigsten.

Unter Berücksichtigung der Oberflächengüte aller Kompositproben nach Hygienisierung konnte folgende Rangfolge der Reiniger, beginnend mit dem niedrigsten arithmetischen Mittenrauwert R_a , festgelegt werden: Prothesenreiniger Corega tabs dental weiß, elektrische Zahnbürste, Nadelstrahlverfahren B - Nadelstrahlverfahren A, Corega 1 Minute - blend-a-med Kariosan - Blend-a-dent Hygienic, Colgate sensation white, Sidol.

5.13 Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung und Politur

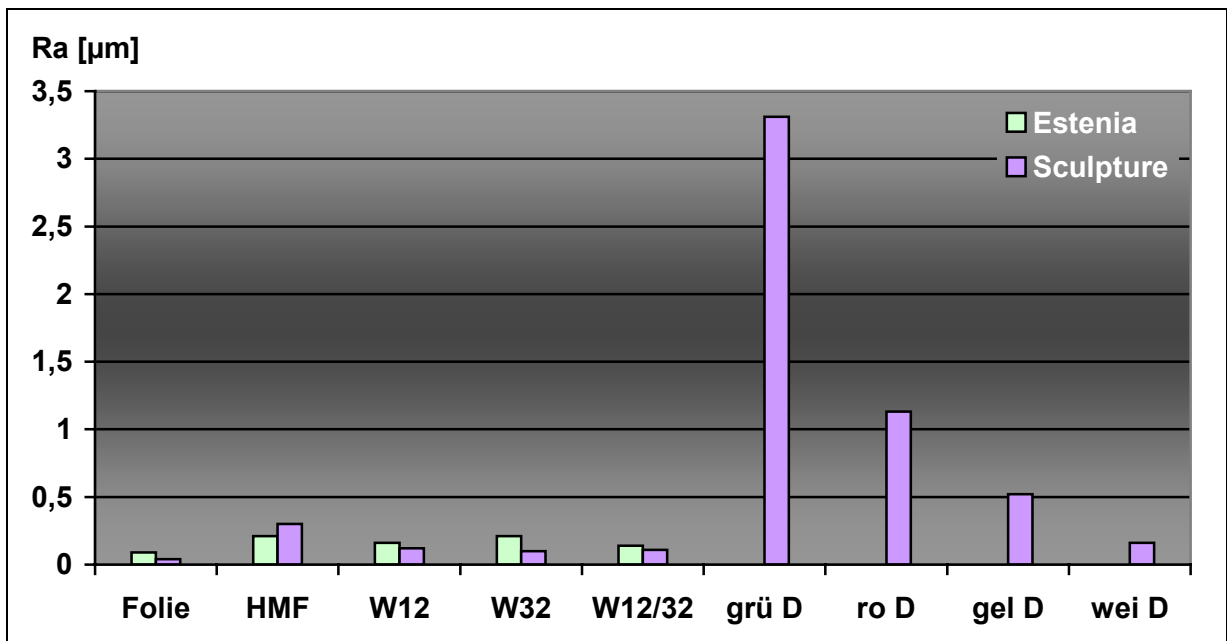


Abb. 40: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in [µm] nach Polymerisation unter Folie und nach Ausarbeitung mit verschiedenen Ausarbeitungsinstrumenten
Folie, **HMF**: kreuzverzahnte Hartmetallfräse, **W12**: 12schneidiger Finierer, **W32**: 32schneidiger Finierer, **W12/32**: nacheinander 12schneidiger und dann 32schneidiger Finierer, **grün D**: grüner Diamant (Ø Korngröße 125 µm), **ro D**: roter Diamant (Ø Korngröße 30 µm), **gel D**: gelber Diamant (Ø Korngröße 15 µm), **wei D**: weißer Diamant (Ø Korngröße 8 µm)

Zur Ausarbeitung und Formkorrektur von Verblendkunststoffen wurden verschiedene Instrumente (Abb. 40) eingesetzt. Auf Sculpture wurde nach Polymerisation unter Folie ein R_a -Wert von 0,04 µm gemessen. Demgegenüber erzeugten 12- bzw. 32schneidiger Finierer (Schaft: Winkelstück) mit R_a -Werten von ca. 0,11 µm rauere und die kreuzverzahnte Hartmetallfräse (Schaft: Handstück) mit einem R_a von 0,3 µm deutlich rauere Oberflächen. Beide Finierer erzeugten im Vergleich keine signifikanten Rauheitsunterschiede. Diamantierte Instrumente (Schaft: Winkelstück) hinterließen entsprechend ihrer Korngröße mit Ausnahme des ultrafeinen Diamanten (weiß markiert) mit $R_a > 0,3$ µm signifikant größere Rauigkeiten als die Hartmetallfräse.

Nach Ausarbeitung mittels Hartmetallfräse wurde bei Estenia mit einem R_a -Wert von 0,21 µm eine ebenere Oberfläche als bei Sculpture gemessen. Die niedrigste Oberflächenrauigkeit erzeugte auf Estenia der 12schneidige Finierer, wobei hier der arithmetische Mittenrauwert höher als nach Anwendung auf Sculpture lag.

Zur formgebenden Gestaltung von Verblendkompositen werden in der Zahntechnik aus Gründen der Effektivität, d.h. ausreichender und schneller Materialabtrag bei kleinstmöglicher Oberflächenaufrauung, vorrangig Hartmetallfräsen verwendet. Das unter 4.3.13, Tab. 9, bezeichnete Instrument wurde folglich als Ausarbeitungsinstrument der Politur vorangestellt.

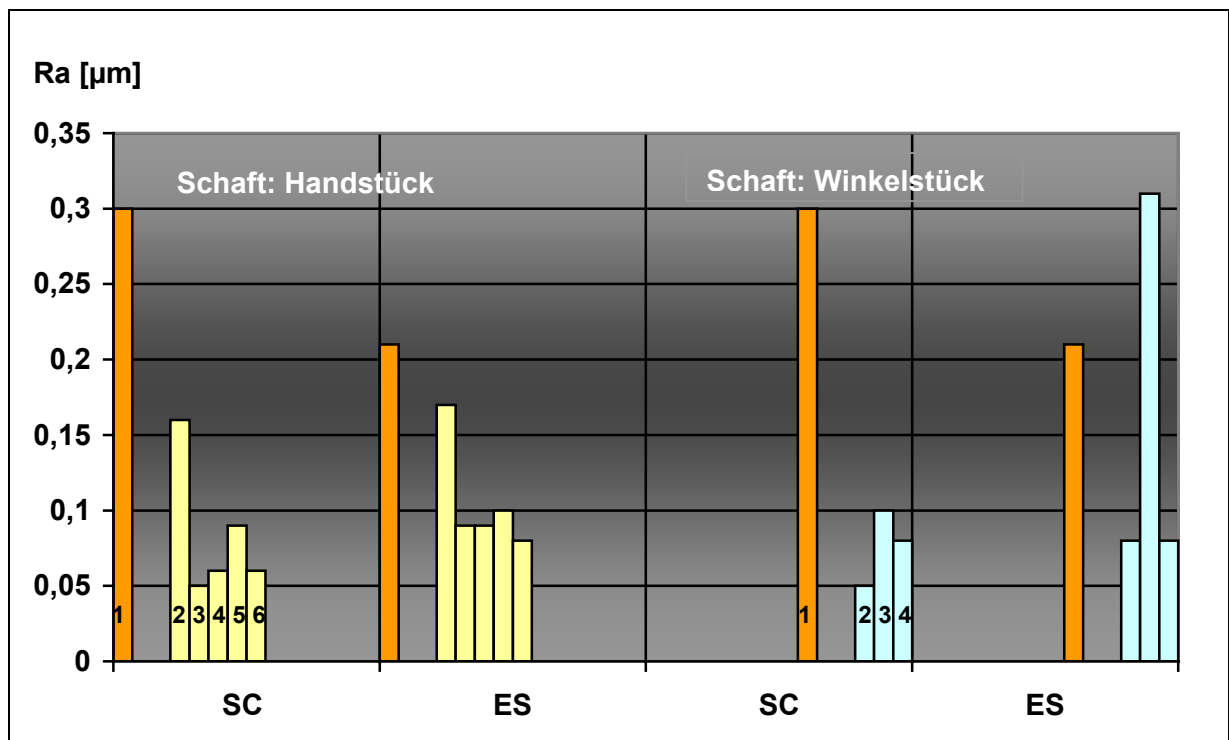


Abb. 41: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in [µm] nach Ausarbeitung mittels kreuzverzahnter Hartmetallfräse

1: HMF, **2-6 Polierinstrumente Handstück:** **2:** Kunststoffpolierer NTI, **3:** Gebr. Brasseler, **4:** Compomaster/Kelch, **5:** Compomaster Rad, **6:** Polierstrasse

1: HMF, **2-4 Polierinstrumente Winkelstück:** **2:** Super Snap, **3:** Politip, **4:** Diagloss

Auffallend war das unterschiedliche Verhalten der beiden Verblendkomposite gegenüber der Politur mit dem Polierer Politip (Schaft: Winkelstück) (Abb. 41): Während bei Sculpture eine Reduktion der Oberflächenrauigkeit auf 0,1 µm verzeichnet wurde, trat bei Estenia eine Erhöhung auf 0,31 µm auf. Der Kunststoffpolierer NTI (Schaft: Handstück) führte auf beiden Materialien zu einer Reduktion der arithmetischen Mittenrauwerte auf 0,16 µm bei Sculpture bzw. 0,17 µm bei Estenia. Alle übrigen Polierer bzw. Poliersysteme erzeugten sowohl auf Sculpture, als auch auf Estenia Rauigkeiten von $\leq 0,1$ µm. Anhand des Signifikanztestes konnte für Sculpture die mehrstufige Polierstraße - roter Gummierer; grüner Gummierer; weiße Bürste, Ziegenhaarbürste, Baumwollbürste mit Hochglanzpolierpaste - als das Poliersystem be-

stimmt werden, das die niedrigste Oberflächenrauigkeit erzeugte. Auf die Zwischenstufe Ziegenhaarbürste konnte dabei verzichtet werden. Mit den flexiblen Scheibensystemen Super Snap (Schaft: Winkelstück) und Gebrüder Brasseler (Schaft: Handstück) ließen sich mit $R_a = 0,05 \mu\text{m}$ vergleichbar ebene Oberflächen erzeugen, dicht gefolgt von dem radförmigen und dem kelchförmigen Compomaster-Polierer (Schaft: Handstück) und dem zweistufigen Diagloss-Polierer (Schaft: Winkelstück). Bei den flexiblen Scheibensystemen war das Weglassen von Zwischenstufen möglich bzw. nötig. Der Einsatz der grünen Scheibe war bei Super Snap ausreichend, bei den Polierscheiben der Gebrüder Brasseler konnte auf die grobe Konturierscheibe (blau markiert) verzichtet werden. Für Estenia fand sich hingegen kein herausragend gutes Polierinstrument, Werte um $0,08 \mu\text{m}$ konnten mit den übrigen Poliersystemen erzielt werden. Dabei erzeugten die flexiblen Scheibensysteme keine signifikant ebenere Oberfläche als der zweistufige Diagloss-Polierer, sowie der radförmige und der kelchförmige Compomaster.

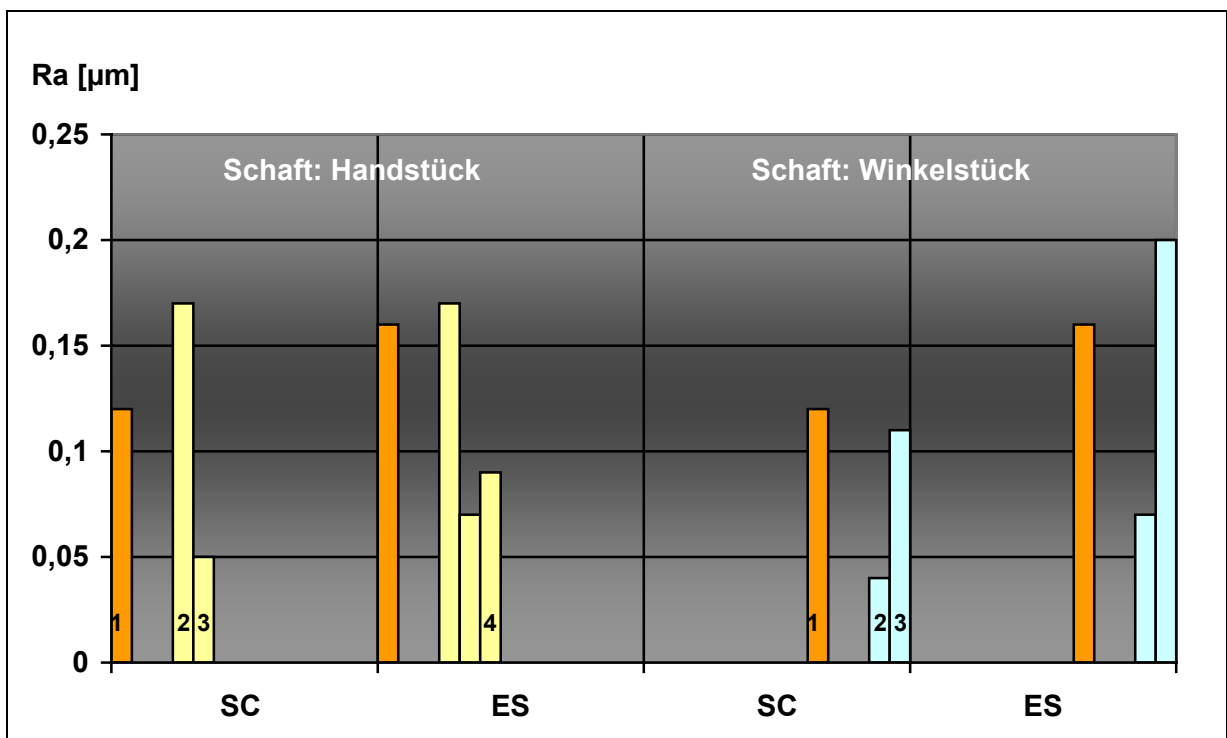


Abb. 42: Arithmetischer Mittenrauwert R_a in $[\mu\text{m}]$ nach Ausarbeitung mit 12schneidigem Finierer

1: 12schneidiger Finierer, 2-4 Polierinstrumente Handstück: 2: Kunststoffpolierer NTI, 3: Gebr. Brasseler, 4: Compomaster/Kelch

1: 12schneidiger Finierer, 2-3 Polierinstrumente Winkelstück: 2: Super Snap, 3: Politip

Da auch in der zahnärztlichen Praxis eventuelle Formkorrekturen an Kunststoffverblendungen vorgenommen werden, wurden ausgewählte zahnärztliche Polierinstrumente nach vorangegangener Bearbeitung der Probenkörper mittels 12schneidigem Finierer eingesetzt (Abb. 42). Bereits nach Ausarbeitung der beiden Komposite lag eine Oberflächenrauigkeit $< 0,2 \mu\text{m}$ vor. Mit den nachfolgend verwendeten Super Snap Disks (Schaft: Winkelstück) wurden auf beiden Materialien Rauheitswerte von unter $0,1 \mu\text{m}$ erreicht. Für Sculpture wurde ein dem „Folienwert“ identischer R_a von $0,04 \mu\text{m}$ ermittelt. Der Politip Polierer (Schaft: Winkelstück) führte auf Sculpture zu keiner weiteren Glättung gegenüber dem 12schneidigen Finierer. Bei Estenia wurde nach Verwendung von Politip und NTI Kunststoffpolierer eine Verschlechterung gegenüber der Ausarbeitung festgestellt. Auch auf Sculpture nahm durch die Politur mit dem NTI Kunststoffpolierer (Schaft: Handstück) die Oberflächenrauigkeit gegenüber der Ausarbeitung zu. Während die beiden flexiblen Scheibensysteme auf Estenia ähnliche Rauheitswerte erzeugten, ließen die Super Snap Disks auf Sculpture eine ebenere Oberfläche entstehen.

Der Vergleich der Politurergebnisse nach Ausarbeitung von Sculpture und Estenia mittels kreuzverzahnter Hartmetallfräse bzw. 12schneidigem Finierer zeigte, dass:

1. auf Sculpture die Instrumentenreihenfolge: 12schneidiger Finierer (Schaft: Winkelstück) und die zahnärztlichen Polierscheiben Super Snap (grün-rosa) eine signifikant ebenere Oberfläche erzeugen als die Instrumentenreihenfolge: kreuzverzahnte Hartmetallfräse (Schaft: Handstück) und Super Snap Disks (grün-rosa) (Schaft: Winkelstück).
2. auf Sculpture die Handstückinstrumente kreuzverzahnte Hartmetallfräse in Kombination mit den Polierdisks der Gebrüder Brasseler (rosa-grau) (Schaft: Handstück) signifikant niedrigere R_a -Werte erzeugen als nach Anwendung selbiger Polierscheiben nach dem 12schneidigen Finierer (Schaft: Winkelstück).
3. sich für die übrigen auf Sculpture angewandten Polierer unabhängig der Ausarbeitung identische Politurergebnisse ergeben.
4. für Estenia bei Verwendung schneidend abtragender Ausarbeitungsinstrumente dieses für das Politurergebnis eine untergeordnete Rolle spielt.
5. sich Estenia unabhängig des Ausarbeitungsinstrumentes mit Politip (Schaft: Winkelstück) nicht polieren lässt.

Der häufige Einsatz von diamantierten Instrumenten in der Praxis führte zur nachfolgenden Versuchsreihe: Nach Ausarbeitung von Sculpture mit dem roten Diamanten (\emptyset Korngröße 30 μm) schloss sich die äußerst aufwendige Politur mit grüner und rosa Polierscheibe an. Dabei wurden R_a -Werte von 0,12 μm erzielt. Es wurden also Rauheitswerte unter der empfohlenen Grenze von 0,2 μm (Bollen et al., 1997) erreicht, jedoch signifikant höhere Rauigkeiten als nach der Benutzung von Hartmetallfräse bzw. 12schneidigem Finierer.

6. Diskussion

Die mechanischen Eigenschaften von Kompositen werden im Wesentlichen durch Matrixtyp, Füllstoffgehalt und -typ, Verbund zwischen Matrix und Füllstoff, sowie Porositätsgrad bestimmt. Unter Berücksichtigung der geprüften Parameter gilt es nun die untersuchten Produkte unter Einbeziehung der in der Literatur beschriebenen Ergebnisse bezüglich ihrer Werkstoff- und Anwendungseigenschaften hin zu diskutieren und zu bewerten.

6.1 Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul

6.1.1 Biegefestigkeit

Nach dem im ISO-Standard 4049 beschriebenen 3-Punkt-Biegeversuch wurden die Biegefestigkeit und der Elastizitätsmodul der Verblendkunststoffe ermittelt.

Die Thermozyklierung der Verblendkomposite simuliert nicht nur intraorale Belastungen, wie sie durch z.B. eiskühle und heiße Getränke (Versluis et al., 1996) auftreten, sondern dient vor allem der Prüfung des Haftverbundes zwischen Matrix und Füllstoff, die unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufweisen. Bei der Thermozyklierung entstehen dadurch an der Grenzfläche wechselnde mechanische Spannungen, die das Komposit vertragen muss, soll es nicht zu Gefügebrauchungen kommen, in deren Folge die mechanische Festigkeit abnehmen würde. Demgegenüber dient die 90tägige Wasserlagerung bei 37 °C allgemein der Simulation der Feuchtbedingungen im cavum oris und speziell der Prüfung auf Hydrolysestabilität der Silanisierung der Füllstoffe. Aus Gründen der besseren Reproduzierbarkeit wird Wasser statt des komplex zusammengesetzten und mikrobiell besiedelten Speichels verwendet (Frenzel und Viohl, 1994).

Bei den neuen Verblendkompositen Estenia und Sculpture sowie dem Referenzmaterial Sinfony wird nach 1tägiger Wasserlagerung eine höhere Biegefestigkeit als nach Stressbehandlung bei insgesamt gleicher Reihenfolge der Materialien registriert. Die Unterschiede zwischen den Referenzmaterialien und den neuen Kompositen zeigen sich allerdings weniger deutlich: die Biegefestigkeiten von Estenia und Artglass bzw. Gradia, und auch von Sculpture und Gradia liegen im gleichen Bereich. Nach 90tägiger Wasserlagerung werden nur geringfügige Festigkeitsänderungen der Werkstoffe festgestellt. Ursächlich daran beteiligt ist die Verbesserung der Werkstoff-

eigenschaften, wie z.B. Erhöhung des Polymerisationsgrades durch verzögert weiter ablaufende Polymerisation und eine Verschlechterung der Eigenschaften durch Wasseraufnahme/Quellung infolge des hydrolytischen und Weichmachereffektes des Wassers (Jang et al., 1998; Touati et al., 2001; Ho et al., 2001). Dennoch erzielen die neuen Verblendkomposite Estenia und Sculpture nach 90 Tagen in aqua dest. ähnlich gute Festigkeitswerte wie die Referenzmaterialien Artglass, Sinfony und Targis.

Die von Touati et al. zur Reduktion der Frakturgefahr geforderte Biegefestigkeit über 120 MPa wird von den Verblendkompositen Signum und Solidex nach den unterschiedlichen Lagerungen, sowie von Targis nach 1 Tag Wasserlagerung und nach 25000 Temperaturlastwechseln nicht erreicht (Touati et al., 2001). Bourrelly und Tzovas ermittelten experimentell für Conquest C&B, dem Vorläuferkomposit von Sculpture, einen 2-4fach größeren Biegewiderstand gegenüber anderen handelsüblichen Kompositen (Bourrelly und Tzovas, 1994). Übertragen auf das modifizierte Conquest C&B-Material Sculpture kann dieses Ergebnis nicht bestätigt werden.

Weiterhin beschreibt Rzanny et al. eine Korrelation der Biegefestigkeit mit dem Füllstoffgehalt (Rzanny et al., 1995). Auch für die neuen Materialien Estenia, mit einem Füllstoffgehalt von 92 Gew.% und Sculpture mit einem Füllstoffgehalt von 78 Gew.%, kann dies bestätigt werden. Trotz des geringen Füllstoffgehaltes von 50 Gew.% weist Sinfony allerdings hohe Festigkeitswerte auf. Dies ist in der Art der Füllstoffe und ihrer Konditionierung begründet (Rzanny et al., 1995). Unterbleibt nämlich die Anbindung von Füllkörpern an die Matrix, so stellen diese einen Fremdkörper in der Matrix dar und schwächen das Gefüge (Zanghellini und Voser, 1993b), so dass hoher Füllstoffgehalt nicht zwangsläufig hohe mechanische Festigkeit bedingen muss.

6.1.2 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist ein Maß für die Materialsteifigkeit und charakterisiert den Widerstand gegen das Einwirken einer bestimmten Kraft. Ein hoher Elastizitätsmodul in Verbindung mit hoher Zug- und Druckfestigkeit bedeutet demnach eine geringe Verformbarkeit, also einen hohen Widerstand gegenüber Deformationen und Frakturen (Ho et al., 2001). Laut Touati et al. sollte der E-Modul von Verblendkunststoffen daher > 8000 MPa betragen (Touati et al., 2001). Um Spannungen an der Metall-Kunststoff-Grenzfläche von Verblendungen, welche ihre Ursache u.a. im unterschiedlichen Ausdehnungsvermögen von Metalllegierung ($\alpha = (50-100) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) und Kunststoff ($\alpha = (10-20) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) besitzen, möglichst gering zu halten, sollte

Kunststoff ($\alpha = (10-20) \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) besitzen, möglichst gering zu halten, sollte der E-Modul niedriger als bei Füllungskompositen (mittlerer E-Modul von ca. 11 GPa) gewählt werden (Rzanny und Welker, 1999a, 1999b).

Mit E-Moduli nach 1tägiger Wasserlagerung zwischen 4 GPa bei dem Mikrofüllstoffkomposit Signum und 12,2 GPa bei dem neuen Feinstkornhybridkomposit Estenia treten bemerkenswerte Unterschiede zwischen den untersuchten Verblendkompositen auf. In Übereinstimmung mit Rzanny et al. liegt demnach bei Mikrofüllerkompositen eine niedrigere Elastizität als bei Hybridkompositen vor (Rzanny et al., 1995). Auch die postulierte Abhängigkeit des E-Modul vom Füllstoffgehalt kann für die Feinstkornhybridkomposite bestätigt werden. Dabei werden die höchsten Werte bei Estenia und Sculpture gemessen, welche sich auch durch hohe Biegefestigkeit auszeichnen. Diese Materialien sind demnach durch hohe Festigkeit und niedrige Verformbarkeit gekennzeichnet. Durch die 25000 Temperatur-Last-Wechsel werden mit Ausnahme von Estenia nur geringe Veränderungen induziert. Demgegenüber stellt sich während der 90tägigen Wasserlagerung eine Steigerung der Elastizität bei Estenia, Targis, Sculpture und Artglass sowie ein Elastizitätsverlust bei Sinfony ein. Für Estenia, Sculpture und Targis, welche im Anschluss bzw. während der Polymerisation durch einen Temperprozess vergütet werden und durch eine niedrige Wasseraufnahme gekennzeichnet sind, ist die Langzeitwasserlagerung mit einer fortschreitenden Aushärtung verbunden, was sich u.a. in der steigenden Steifigkeit äußert. Dennoch können nur für Estenia und Sculpture unabhängig von der Lagerung, sowie für Artglass und Targis nach 90tägiger Wasserlagerung Elastizitätswerte von über 8000 MPa gemessen werden. Damit werden teilweise den Füllungskompositen entsprechende Werte erreicht.

6.2 Druckfestigkeit

Mit Ausnahme von Sinfony, welches durch eine ähnliche Druck- und Biegefestigkeit gekennzeichnet ist, zeigen alle untersuchten Materialien eine höhere Resistenz bei Druckbeanspruchung statt bei Biegebeanspruchung, was sich in höheren Druckfestigkeitswerten äußert. Da jedoch im Biegeversuch neben Druckkräften auch die bei intraoraler Belastung auftretenden Zugkräfte berücksichtigt werden, ist dieser Versuch prinzipiell für eine klinische Prognose aussagekräftiger (Rzanny et al., 1995). Die mit Abstand höchste Druckfestigkeit nach 1 Tag in aqua dest. wird bei Estenia gemessen, während die übrigen Produkte nur geringe Unterschiede aufweisen. Auch

nach Belastung im Thermozyklierer zeigt Estenia trotz einer Festigkeitsreduktion die höchste Druckfestigkeit. Nach 90tägiger Wasserlagerung hingegen werden auch für Estenia den übrigen Produkten vergleichbare Werte erfasst. Die von Touati et al. geforderte Druckfestigkeit von über 350 MPa konnte somit nur bei Estenia nachgewiesen werden (Touati et al., 2001).

6.3 Mikrohärt

Die Oberflächenhärte von Werkstoffen steht im Zusammenhang mit der Verschleißfestigkeit. Je größer die Härte, desto verschleißfester ist im Allgemeinen der Werkstoff.

Innerhalb der drei Versuchsreihen – 1tägige Wasserlagerung, 25000 Temperatur-Last-Wechsel, 90tägige Wasserlagerung – stellt sich stets die gleiche absteigende Rangfolge der Produkte ein: Estenia, Sculpture, Targis, Artglass, Solidex, Gradia, Signum und Sinfony. Für Estenia, Sculpture, Targis, Artglass und Sinfony besteht ein klarer Zusammenhang zwischen dem Füllstoffgehalt und der Härte, wie Rzanny und Welker bereits für die letztgenannten Referenzmaterialien ermittelten (Rzanny und Welker, 1999b).

6.4 Abrasionsfestigkeit

Bei der Betrachtung der Abrasionsfestigkeit dentaler Werkstoffe müssen die Abrasion durch komplexe Kaubelastung und die Abnutzung durch tägliche Mundhygienemaßnahmen berücksichtigt werden. Zunächst soll der Abriebwiderstand gegenüber Nahrungsmitteln betrachtet werden. Laut Bauer et al. findet der Abrieb durch Nahrungsbestandteile vorrangig in Bereichen ohne Zahnkontakt statt (Bauer et al., 1995).

6.4.1 Nahrungsmittelassoziierte Kontaktabrasion

Nach Ludwig ist bei Materialien mit hohen mechanischen Festigkeitswerten auch auf eine hohe Abrasionsfestigkeit zu schließen (Ludwig, 1997).

Beim Vergleich der hier untersuchten Verblendkomposite fallen v.a. das neue Material Estenia, sowie Sculpture auf, welche gegenüber den übrigen Materialien relativ hohe mechanische Festigkeitswerte aufweisen. Für diese beiden Kunststoffe kann entsprechend auch eine hohe Abrasionsfestigkeit bestätigt werden.

Tappe et al. weisen bei gleicher Polymerisationsart der Komposite ein Ansteigen des Abrasionswiderstandes mit zunehmenden anorganischen Füllergehalt nach, wobei

der abriebfesteste Kunststoff immerhin noch eine 8fach höhere Abnutzung gegenüber der Aufbrennkeramik Vita-VMK-68 zeigt (Tappe, 1995). Auch Tanoue et al. belegen den deutlich höheren Abrasionswiderstand von Keramik gegenüber 7 verschiedenen Verblendkompositen (Tanoue et al., 2000). Die aufgezeigte Korrelation zwischen Abrasionswiderstand und anorganischem Füllstoffgehalt kann für die im Abrasionsversuch geprüften Feinstkornhybridkomposite bestätigt werden.

Versuchsserien von Rzanny et al., sowie von Ho et al. zeigen, dass Feinstkornhybridkomposite höhere Biegeeigenschaften aufweisen als Mikrofüllerkomposite (Rzanny et al., 1995; Ho et al., 2001). Daher verwundert es nicht, dass das Mikrofüllerkomposit Signum trotz des relativ hohen Füllstoffgehaltes von 74 Gew.% analog zu den verhältnismäßig niedrigen mechanischen Festigkeitswerten durch den größten Materialabtrag gekennzeichnet ist. Da zudem vorrangig die organische Matrix abgetragen wird (Lindemann und Körber, 1985; Bauer et al., 1995), zeigt auch das niedrig gefüllte Feinstkornhybridkomposit Sinfony eine ähnlich hohe Verlustrate. Demnach scheint der Füllstoffgehalt allein für die Einschätzung der Abrasionsfestigkeit nicht ausreichend zu sein. Auch die Festigkeit der Matrix und die dauerhafte Einbindung der silanisierten Füllkörper sind von Bedeutung, was in der Stabilität matrixmodifizierter Feinstkornhybridkomposite wie bspw. Estenia und Sculpture bestätigt wird (Bauer et al., 1995; Ludwig, 1997; Schulz et al., 2003; Rzanny et al., 2003a). Beim Verschleiß von Kunststoffverblendungen handelt es sich also um ein komplexes Geschehen, welches nicht allein durch mechanische Abrasion erklärt werden kann. Daher kann den Labortests nur ein eingeschränkter Aussagewert zugestanden werden (Hofmann, 1980). Die Vergleichbarkeit mit anderen Studien gestaltet sich zudem wegen unterschiedlicher Testbedingungen schwierig (Tanoue et al., 2000).

Weiterhin wird in der Literatur eine Korrelation zwischen Mikrohärte und Abrasionsfestigkeit beschrieben. Eine Abnahme des Abrasionswiderstandes nach Überschreiten eines „Härteoptimums“, wie es Reinhardt und Vahl beschreiben, kann allerdings nicht bestätigt werden (Reinhardt und Vahl, 1977). Vielmehr ist beispielsweise Estenia als abrasionsstabilstes Material auch durch die höchste, dem Zahnschmelz vergleichbare Härte charakterisiert. Experimentell reduziert sich das Verschleißvolumen mit ansteigender Vickers-Härte bei allen untersuchten Materialien.

Nach Michejew und Kunzelmann kommt es bei annähernder Übereinstimmung der Verschleißraten von Komposit und Schmelz, bzw. erhöhter Verschleißrate der Komposite zu einem permanenten Kontaktverschleiß beim antagonistischen Kontakt bei-

der Materialien. Besitzt das Verblendmaterial jedoch eine geringere Verschleißneigung als der natürliche Schmelz, können okklusale Störungen oder Antagonistenschädigungen die Folge sein. Eine grobe Abschätzung der Verschleißrate kann mittels der von Archard aufgestellten Gleichung erfolgen: $V = K \times (LS / 3H)$. Das Verschleißvolumen V ist demnach proportional der Normallast L und dem Weg S , indirekt proportional der Härte H des Materials. Die dimensionslose Proportionalitätskonstante K repräsentiert den Verschleißkoeffizienten (Michejew und Kunzelmann, 2003). Da Abrasionswiderstand und Härte maximal Schmelzwerte erreichen, können Kompositverblendungen folglich in Übereinstimmung mit verschiedenen Autoren im kaulasttragenden Bereich eingesetzt werden (Bauer et al., 1995; Suzuki et al., 1996b). Nachweislich sind harte Füllstoffe wie Zirkoniumsilikate und Quarz sowohl für die stärkere Abnutzung von Schmelz und Komposit, als auch für die Oberflächenaufrauung verantwortlich. Feine, relativ „weiche“ Füllkörper wie Mikrofüller oder Barium-Silikat-Füllstoffe erzeugen neben geringer Schmelz- und Eigenabnutzung auch eine glatte Oberfläche der Verschleißflächen (Suzuki et al., 1996b).

In den eigenen Versuchsreihen werden für die Verblendkunststoffe mit Barium-Silikatfüllkörpern unter Berücksichtigung des Füllstoffgehaltes auch höhere Abrasionsfestigkeiten ermittelt. In absteigender Rangfolge handelt es sich um Sculpture, Targis und Artglass. Das Abnutzungsverhalten von Mikrofüllerkompositen geht wie oben beschrieben jedoch nicht konform mit den Ergebnissen von Suzuki.

Die mit der ACTA-Verschleißprüfmaschine zur Simulation des Nahrungsabriebes ermittelte Rangfolge der Werkstoffe war entsprechend der zunehmenden Abnutzung bisher folgende (Dee Gee et al., 1986): Amalgam, Hybridkomposit, Mikrofüllerkomposit, konventionelle Komposits. Dabei stimmen diese in vitro-Ergebnisse mit in vivo-Ergebnissen anderer Autoren überein (De Gee et al., 1986). Durch die Entwicklung neuer, matrixmodifizierter Komposite ergab sich nach den eigenen Untersuchungen eine andere Reihenfolge: Estenia (höchstgefülltes Feinstkornhybridkomposit), Sculpture (matrixmodifiziertes Feinstkornhybridkomposit) und Amalgam, Feinstkornhybridkomposite, Mikrofüllerkomposite. Eine Verbesserung der Abrasionsfestigkeit scheint mit den neuen Materialien also gelungen zu sein.

6.4.2 Bürstenabrasion

Je widerstandsfähiger ein Kompositwerkstoff gegenüber Materialabrieb ist, desto geringer müssten die Mikrorauigkeitswerte während der Nutzperiode ausfallen und des-

to geringer folglich die Plaqueakkumulation. Für Sculpture, Solidex und Targis, welche nach unterschiedlichen mechanischen Reinigungsverfahren der profilometrischen Oberflächenmessung unterzogen wurden, kann dies bestätigt werden. Für Sinfony wird hingegen trotz niedrigerer Abrasionsfestigkeit eine den übrigen Materialien vergleichbare Oberflächengüte erzielt. Ein gleichmäßiger Abtrag von Matrix und Füllkörpern und damit verbundene geringe Profilveränderungen könnten ursächlich dafür verantwortlich sein. Schon Soltész et al. fanden anhand eigener Untersuchungen, dass hochglanzpolierbare Composite trotz deutlich höherem Substanzverlust bei Bürstenabrieb eine unwesentlich veränderte und demzufolge glatte Oberfläche aufweisen, was in der geringeren Abrasionsresistenz des teilweise mit anorganischem Füllstoff versetzten vorpolymerisierten Matrixmaterials, das als Füllstoff dient, begründet ist (Soltész et al., 1980).

Tanoue et al., welche neben dem Verschleiß auch die Oberflächenrauigkeit von Verblendkompositen nach Zahnbürstenabrasion untersuchten, stellen im Gegensatz zu Tappe et al. keine positive Korrelation zwischen Abrasionsfestigkeit und Füllstoffgehalt fest (Tappe et al., 1995; Tanoue et al., 2000). Auch die Abrasionsneigung von Artglass, Estenia, Sculpture und Targis in der Studie von Tanoue et al. differiert stark mit den eigenen Ergebnissen. Dies ist methodisch bedingt: Tanoue et al. prüften die Bürstenabrasion, die eigene Untersuchung hingegen die nahrungsmittelassoziierte Kontaktabrasion. Dennoch sind tendenziell ähnliche Ergebnisse zu erwarten. Bei Tanoue et al. zeichnen sich Targis und Estenia mit einem geringen vertikalen Prüfkörperhöhenverlust von 10,01 µm und 13,04 µm aus, während Sculpture mit 31,78 µm und Artglass mit 34,08 µm den größten Substanzverlust erfuhren. Die niedrigste Oberflächenrauigkeit wird jedoch bei Sculpture mit einem R_a von 0,54 µm erfasst (Tanoue et al., 2000). Die niedrigeren Rauheitswerte für Sculpture der eigenen Untersuchung sind im unterschiedlichen Versuchsaufbau, v.a. aber im 3fach geringeren Anpressdruck der elektrischen Zahnbürste begründet: Tanoue et al. 3,5 N, eigene Versuchsserie 1 N Auflagekraft. Es werden auf den im Bürstenabrasionsversuch untersuchten Materialien insgesamt keine signifikant unterschiedlichen Rauheitswerte ermittelt. Auch kann keine Korrelation der R_a -Werte zur Abrasionsfestigkeit festgestellt werden.

6.5 Scherhaftfestigkeit

Über unterschiedliche organische und anorganische Konditionierungsverfahren kann eine chemische Anbindung der Verblendkunststoffe an die Legierungsoberfläche realisiert und ein feuchtstabiler, randspaltfreier Verbund mit hoher Verbundfestigkeit erzielt werden. Dabei können die technologisch einfacheren organischen Primer-Verfahren bevorzugt eingesetzt werden, wobei die vorherige mikromechanische Oberflächenaufrauung mittels Korundstrahlen stets zwingend ist (Göbel und Welker, 2000, 2001). Mit dem Strahlprozess sind eine Oberflächenvergrößerung, Oxidation und die Schaffung eines Retentionsreliefs verbunden (Zanghellini und Voser, 1993a). Die Vorbehandlung der Legierungsoberfläche durch Korundstrahlen (Körnung 110 µm, Strahldruck 2-3 bar) trägt nach Göbel und Welker zu optimalen Haftfestigkeitswerten bei, weshalb dieses Verfahren auch in dieser Untersuchung angewandt wird. Der Gesamtverbund setzt sich bei den klassischen Silikatisierungs-/Silanisierungsverfahren z.B. folgendermaßen zusammen: 10% adhäsiv (physikalisch), 35% mikroretentiv (Korundstrahlen), 55% chemisch (Silikatisierung/Silanisierung) (Göbel und Welker, 2000, 2001, 2004). Werden nach experimenteller Alterung der Verbundkörper (Langzeitwasserlagerung bei 37 °C, Temperaturlastwechselbehandlung, Kochen) 10 MPa Haftfestigkeit nicht unterschritten, so ist eine relativ hohe Verbundsicherheit unter den komplexen intraoralen Bedingungen zu erwarten (Göbel und Welker, 2000). Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Scherhaftfestigkeiten der Verbundkörper - NEM-Legierung Wirobond C/Rocatec-Konditionierung/Gradia Opa-ker/unterschiedliche Verblendkomposite - liegen nach 1tägiger Wasserlagerung bei 37°C weit über 20 MPa. Es treten vorrangig Kohäsions- oder Mischbrüche auf, was die Beständigkeit des Verbundes erklärt. Trotz eines Abfalls der initial hohen Verbundfestigkeit kann auch nach 25000 Temperaturlastwechseln von einer ausreichend hohen Festigkeit des Verbundes ausgegangen werden. Nach Göbel und Welker besteht eine Korrelation zwischen Verbundfestigkeit und Biegefestigkeit/E-Modul des jeweiligen Verblendkunststoffs (Göbel und Welker, 2000). Dies kann für die hier untersuchten Verblendkunststoffe bestätigt werden. Die neuen Materialien Estenia und Sculpture zeichnen sich neben hoher Biegefestigkeit und hohem E-Modul auch durch hohe Verbundfestigkeitswerte aus. Je elastischer der Kunststoff, desto eher ist er in der Lage Spannungen an der Grenzfläche Legierung-Kunststoff abzufangen, was die Abplatzungs- und Frakturgefahr verringert. Weiterhin stehen mit einem hohen anorganischen Füllstoffgehalt auch mehr Siliziumoxide für die Silanisierung zur

Verfügung (Schaller et al., 1995). Analog zur Biegefestigkeit und zum E-Modul steigt die Verbundfestigkeit von Feinstkornhybridkompositen mit der Höhe des Gehaltes an anorganischem Füllstoff. Sinfony ist gegenüber den anderen Produkten wiederum durch ein konträres Verhalten gekennzeichnet. Das Mikrofüllerkomposit Signum zeigt die niedrigste Scherhaftfestigkeit.

6.6 Reparaturfestigkeit

Am häufigsten bewegen Funktionsverlust des festsitzend oder herausnehmbaren Ersatzes und mangelnde Ästhetik den Patienten zum Zahnarztbesuch. Mit der Reparatur steht ein Verfahren zur Verfügung, dass unter geringem Zeit- und Kostenaufwand eine Sofortversorgung gestattet, welche die Überlebenszeit des prothetischen Ersatzes verlängert und/oder bis zur Neuversorgung als Übergangslösung dient (Leithold, 2004).

Nach der vollständigen Polymerisation bzw. Alterung stehen im Verblendkomposit keine reaktionsfähigen Doppelbindungen zur Verfügung, an die das Reparaturkomposit chemisch anbinden könnte (Pilch und Guggenberger, 1990; Frenzel und Viohl, 1994; Schaller et al., 1995). Mittels chemischer Konditionierungsverfahren soll ein dauerhafter Verbund beider Materialien möglich werden. Verschiedene Autoren empfehlen, die kontaminierte Kunststoffoberfläche durch Anschleifen mit rotierenden Instrumenten bei gleichzeitiger Oberflächenaufrauung zu entfernen (Frenzel und Viohl, 1994; Schaller et al., 1995). Während monomerhaltige Haftvermittler den Verbund über die Anknüpfung an freie Methacrylatgruppen der organischen Matrix realisieren, erfolgt bei Silanlösungen die Anbindung an die anorganischen Siliziumdioxid-Füllkörper, die bei den hochgefüllten Kompositen den Hauptanteil der aufgerauhten Oberfläche darstellen. Trotz der in der Literatur beschriebenen ebenfalls guten Verbundfestigkeitswerte nach Verwendung einer Silanlösung (Frenzel und Viohl, 1994; Schaller et al., 1995; Leithold, 2004), wird in der eigenen Untersuchung ein Kunststoffhaftvermittler zur chemischen Konditionierung eingesetzt. Dabei können die Scherhaftfestigkeiten von Sculpture und Estenia nach Reparatur mit dem niedriggefüllten und niedrigviskosen Sinfony im Vergleich zur Reparatur mit dem jeweiligen Originalmaterial deutlich gesteigert werden. Die gute Benetzung der Reparaturfläche durch Sinfony scheint dafür verantwortlich zu sein. Auch in der Literatur werden wegen der guten Fließ- und Benetzungseigenschaften niedriggefüllte lichthärtende Materialien zur Reparatur befürwortet (Suzuki, 1996a). Allerdings wurde experimentell

ein starker Rückgang der zunächst (1tägige Wasserlagerung) ausreichend hohen Haftfestigkeit nach künstlicher Stressung (25000 TLW) festgestellt, so dass die längerfristige Stabilität der Reparatur der neuen Verblendkomposite angezweifelt werden muss. Es empfiehlt sich daher bei größeren, ausgedehnten bzw. im kaulasttragenden Bereich liegenden Defekten die Verblendung samt Verbundschicht zu entfernen, die Metalloberfläche zu reinigen, zu konditionieren und die Verblendung neu aufzutragen.

6.7 Gefügefehler und Farbverschiebung

Die Homogenität eines Kunststoffes ist wesentlich für seine Farbbeständigkeit. Auf Grund von Makro- und/oder Mikroporositäten kommen durch die Einlagerung von Wassermolekülen endogene Verfärbungen, sowie Transparenzminderungen zustande (Windecker, 1969; Hofmann, 1980). Auch instabile Polymerisationsvorgänge und chemische, innerhalb des Polymers ablaufende Reaktionen, wie Umwandlung tertiärer Amin-Akzeleratoren und Änderungen der oberflächlichen Kompositzusammensetzung führen zu einer tendenziellen, für das menschliche Auge kaum wahrnehmbaren Farbverschiebung der Komposite während der Alterungsperiode in Richtung Gelbwerte (Setz und Engel, 1994; Reitemeier et al., 1994; Uchida et al., 1998; Kolbeck et al., 2003; Schulze et al., 2003). Dies kann experimentell ebenso für die nach exogener Verfärbungslagerung gereinigten und somit gealterten Kompositproben festgestellt werden. Einige Autoren weisen für hellere Farbtöne eine stärkere Verfärbung nach UV-Exposition nach (Eldiwany, 1995; Uchida et al., 1998). Eine Ausnahme stellt laut Schulz et al. das neue Verblendkomposit Sculpture dar, welches nach Alterung durch Licht und Wasser einschließlich Temperaturänderungen, jedoch ohne Berücksichtigung mechanischer Kräfte, durch eine deutlich wahrnehmbare Aufhellung gekennzeichnet ist, $\Delta E = 5-9$. Als mögliche Ursachen werden Füllstoffexposition (Fülleroxide) und Zersetzungsprozesse des Polymeranteils angeführt, da Sculpture im Gegensatz zu Artglass und Targis keine Verringerung des oberflächlichen anorganischen Kompositanteils aufweist (Schulz et al., 2003). Diese Aufhellungsneigung von Sculpture kann weder nach Stressung, noch nach Langzeitwasserlagerung der Probenkörper bestätigt werden.

Insgesamt sind endogen bedingte und daher irreversible Farbänderungen, sowie die durch UV-Bestrahlung induzierte Farbänderungen im Vergleich zu exogenen Verfä-

bungen als relativ gering einzuschätzen (Seher und Viohl, 1992; Kolbeck et al., 2003).

6.8 Durchhärtung

Die Abhängigkeit der Durchhärtungstiefe von der gewählten Farbe ist in der Literatur vielfach bestätigt (Pilch, 1990; Rueggeberg et al., 1993; Rzanny und Welker, 1998). Dunklere Farbpigmente absorbieren die Lichtquanten und lassen sie nicht in die Tiefe. Auch haben Füllstoffgehalt und -größe einen wesentlichen Einfluss auf die Durchdringbarkeit des Kunststoffs. Die größte Polymerisationstiefe bei dem niedriggefüllten Sinfony, in Abhängigkeit von der Belichtungszeit, sowie die niedrigen Durchhärtungstiefen bei den hoch- und höchstgefüllten Verblendkompositen werden so erklärbar. Auch die Matrix scheint einen Einfluss auszuüben, da neben dem Mikrofüllerkomposit Signum nur das matrixmodifizierte Polycarbonatdimethacrylat Sculpture nach 180 s in 9 mm Schichtstärke durchgehärtet wird. Um eine vollständige Polymerisation in jedem Fall sicherzustellen, sollte die Schichtdicke ungeachtet des Materials bei einer Belichtungszeit von 20 s, besser 40 s, 2,5 mm nicht überschreiten.

6.9 Wasseraufnahme

Wasseraufnahme führt durch Quellung zur Volumenzunahme, welche die bei der Polymerisation erfolgende Schrumpfung kompensieren soll (Schickerath, 1980; Rzanny und Welker, 1999a). Ob ein derartiger Ausgleich ausgewogen erfolgt, bleibt fraglich. Laut Schwickerath nehmen Komposit-Prüfkörper mit sehr fein verteilten und an der Oberfläche liegenden Porositäten mehr Wasser auf als solche mit einer niedrigen Porenzahl pro mm^2 (Schwickerath, 1980). Gradia, das bei der Gefügeanalyse durch eine feinporige Oberfläche auffiel, zeigte eine vergleichsweise hohe Wasseraufnahme mit ca. 1,8 Masse%. Während bei Artglass, Estenia, Sculpture, Targis und Solidex, wie in der Literatur beschrieben (Lutz et al., 1981; Seher und Viohl, 1992), eine positive Korrelation zwischen anorganischem Füllstoffgehalt und Wasseraufnahme beobachtet wurde, zeichnete sich Gradia trotz relativ hohem Füllstoffgehalt von 74 Gew.% durch die höchste Wasseraufnahme, Sinfony mit einem Füllstoffgehalt von nur 50 Gew.% durch eine dem höhergefüllten Artglass entsprechende Wasseraufnahme aus. Die Qualität, d.h. die Festigkeit des Verbundes Füllkörper – organische Matrix sowie die in Sinfony enthaltenen hydrophoben Monomere scheinen ursächlich dafür verantwortlich. Bei Gradia könnte durch Wasserzutritt eine Zerstö-

rung der Verbundphase herbeigeführt werden, was das weitere Eindringen von Wasser in entstehende Mikrospalten fördern würde (Lenk-Mimietz, 1995). Die Verbundphase von Sinfony wäre demnach gegenüber Wasser unanfällig. Die modernen Verblendkomposite Estenia und Sculpture weisen eine niedrige Wasseraufnahme und gute mechanische Eigenschaften auf. Die Wasseraufnahme beeinflusst also wie in der Literatur beschrieben die mechanischen Eigenschaften von Kompositen (Viohl, 1974, 1985; Viohl und Gerhardt, 1975; Kollmannsprenger und Venz, 1980; Reinhardt und Vahl, 1980, 1983; Dietze, 1985).

6.10 Polymerisationsschrumpfung

Die Volumenkontraktion kommt durch das Zusammenrücken der Monomere bei der Polymerisationsreaktion zustande. Daher bewirkt die Verringerung des Matrixanteils eine Reduktion der Polymerisationsschrumpfung und Degradation (Lutz et al., 1981; Ho et al., 2001). Die schrumpfungsfähige organische Matrix nimmt bei dem neuen höchstgefüllten Estenia einen minimalen Volumenanteil ein, so dass hier auch die signifikant niedrigste Polymerisationsschrumpfung gemessen wurde. Das matrixmodifizierte Sculpture unterschied sich jedoch nicht signifikant von Gradia und den Referenzmaterialien Artglass und Targis. Das niedriggefüllte Sinfony zeigte erwartungsgemäß die höchste Volumenkontraktion. Nur für Solidex und das Mikrofüllerkomposit Signum war keine Korrelation zwischen Füllstoffgehalt und Polymerisationsschrumpfung ersichtlich. Ein direkter Zusammenhang zwischen Polymerisationsschrumpfung und mechanischen Eigenschaften wurde nicht festgestellt. Auch unterbleibt bei Artglass, Sculpture, Sinfony, Signum, Solidex und Targis die gewünschte Kompensation der Polymerisationsschrumpfung durch Quellung.

6.11 Exogene Verfärbungsneigung, Oberflächenrauigkeit und Reinigung

6. 11.1 Exogene Verfärbungsneigung

In der Literatur ließen sich nachfolgende Farbtonveränderungen und dazugehörige „Wahrnehmungsgrenzen“ finden:

ΔE 0 - 2: „nur gering“ bzw. „nicht wahrnehmbar“ (Cross et Moser, 1977)

ΔE 2 - 3: „gerade wahrnehmbar“ (Cross et Moser, 1977; Seher und Viohl, 1992; Eldiwany et al. 1995)

$\Delta E \geq 3,3$: „deutlich wahrnehmbar“ (Ruyter et al., 1987; Schulze et al., 2003).

Diese Einteilung nutzten auch Schulze et al. zur Beurteilung ihrer über die CIELAB-Farbbestimmung ermittelten Farbabstände ΔE nach Alterung von Kompositen (Schulze et al., 2003). Regnet et al. konnten für $\Delta E < 3,3$ keine sichtbaren Farbveränderungen feststellen (Regnet et al., 2003).

Nach den Angaben in der Literatur und den eigenen Messergebnissen kann demnach eine Wahrnehmungsgrenze von $\Delta E = 3,3$ festgelegt werden. Folglich gilt:

$\Delta E < 3,3$: „nicht sichtbare“ bzw. „gerade sichtbare“ Verfärbung

$\Delta E \geq 3,3$: „deutlich sichtbare“ Verfärbung

$\Delta E \geq 10,0$: „starke“ Verfärbung.

Generell ist eine stärkere Verfärbungswirkung des natürlichen Färbemediums Rotwein gegenüber dem Kaffee zu verzeichnen, wie auch schon Regnet et al. feststellten (Regnet et al., 2003). Kolbeck et al. hingegen erhielten auf Grund ihrer Versuchsserien eine stärkere Verfärbungswirkung des Kaffees (Kolbeck et al., 2003). Das Verfärbungsvermögen von Tabaksud ist in etwa mit dem des Kaffees gleichzusetzen. Die Farbänderung ist demnach gerade bis deutlich wahrnehmbar. Luce and Campbell hingegen fanden bei ihrer Untersuchung von 4 Mikrofüllerkompositen die stärkste Verfärbungswirkung von Kaffee, gefolgt von Tee und Tabak (Luce and Campbell, 1988).

Mit zunehmender Oberflächenrauigkeit steigt die Adhäsion von Farbstoffpigmenten an einer Werkstoffoberfläche. Unter Funktion, d.h. durch chemische und physikalische Belastungen im Mundmilieu, kommt es während der Nutzperiode von Verblendkompositen zu einer Verschlechterung der primär glatt polierten Kunststoffoberfläche mit möglicher Freilegung von Porositäten und Bildung von Haarrissen, wodurch die Adhäsion und das Eindringen von Farbpigmenten begünstigt wird. Die Entfernung exogener Verfärbungen mittels Reinigungs- und Politurverfahren gestaltet sich allerdings bei Penetration der Farbpartikel in tiefere Schichten durch Schwachpunkte in der Oberfläche schwierig. Daher ist neben einer hohen Farbstabilität eine hohe und dauerhafte Oberflächengüte von Verblendkunststoffen dringend erforderlich (Krämer et al., 1990; Setz und Engel, 1994; Kolbeck et al. 2003). Durch Mundhygienemaßnahmen und Verdünnung der färbenden Medien durch den Speichel wird die Zeit, bis deutliche Verfärbungen sichtbar werden, verlängert (Luce and Campbell, 1988).

Trotz niedriger Abrasionsfestigkeit, feinporiger Struktur und damit verbundener deutlicher Wasseraufnahme zeichnet sich Gradia im Farbtest nach Lagerung in verschiedenen natürlichen Färbemedien – Kaffee, Tee, Tabak und Rotwein – durch die geringste exogene Verfärbungsneigung aus.

Eine Korrelation zwischen Füllstoffgehalt und Farbbeständigkeit kann nicht nachgewiesen werden.

Die von Seher und Viohl nach Untersuchung von 3 Verblendkompositen – SR Isosit N (Ivoclar), Dentacolor (Heraeus Kulzer) und Visio-Gem (Espe) – aufgestellte These, dass zwischen Wasseraufnahme und exogener Verfärbung kein Zusammenhang besteht, scheint bestätigt (Seher und Viohl, 1992). Auch Rzanny und Welker fanden keine Korrelation zwischen Wasseraufnahme und exogener Verfärbungsneigung (Rzanny und Welker, 1999b; Rzanny et al., 2003a). Es handelt sich demnach vor allem um eine Farbstoffadsorption und nicht wie bei polaren Methacrylaten mit hoher Wasseraufnahme um eine Farbstoffdiffusion ins Material (Seher und Viohl, 1992). Die Oberflächenaufrauung während der Nutzungsperiode wurde allerdings bei den eigenen Untersuchungen nicht berücksichtigt.

6.11.2 Reinigung

Die oberflächlichen Farbpigmentauflagerungen können vorrangig durch mechanische Reinigung, d.h. Zahnbürsten/Bürsten, Zahnpasten/Pulver/Schäume bzw. Ultraschallreiniger entfernt werden. Die manuelle Geschicklichkeit der Patienten ist für den Erfolg der mechanischen Hygienisierung mittels Bürsten entscheidend. Ein zu hoher Anpressdruck mit falscher Putztechnik oder die Verwendung abrasiver Zahnpasta führen zu einer irreversiblen Verschlechterung der Prothesen- oder Kompositoberfläche (Jagger and Harrison, 1995). Sind bereits Pigmente durch Schwachstellen in der Oberfläche in tiefere Schichten vorgedrungen, so gestaltet sich die Entfernung schwieriger. Durch chemisch/biologisch aktive Substanzen wie Peroxide, organische und anorganische Säuren, Hypochloride, Desinfektionsmittel oder Enzyme, wie sie in Reinigungstabletten und Ultraschallreinigungskonzentraten enthalten sind, soll neben den oberflächlichen Verfärbungen auch deren Entfernung realisiert werden (Condo, 1999; Tschernitschek, 1999). Eine effiziente Prothesenhygiene kann demzufolge durch eine Kombination von primär mechanischer Reinigung mittels Zahnbürste und hypoabrasiver Zahnpaste (Prothesenreinigungspaste) und anschließender Tauchbadreinigung mit Ultraschallreinigern, Tablettenreinigern oder Mundwässern erzielt

werden (Barlattani, 1999; Tschernitschek, 1999). Die eigenen Untersuchungen ergaben für die elektrische Zahnbürste allein bzw. in Kombination mit Corega 1 Minute, Blend-a-dent Hygienic oder blend-a-med Kariosan nach Verfärbung durch Kaffee nur ein begrenztes Reinigungsvermögen. Die geringe Molekülgröße von Kaffee und damit verbundene Fähigkeit durch kleinste Oberflächendefekte in oberflächennahe Kunststoffschichten zu gelangen, scheint dafür verantwortlich zu sein (Seher und Viohl, 1992). Nach Lagerung in Rotwein hingegen zeigen die niedrig abrasiven Reiniger einen ähnlich guten Reinigungseffekt wie die stark abrasiven Reiniger Colgate sensation white und Sidol. Die gute Reinigung zieht jedoch eine durchschnittliche Oberflächenverschlechterung mit R_a -Werten von ca. $0,2\ \mu\text{m}$ nach sich. Zu beachten ist dabei, dass die Reinigungsmaßnahmen lediglich 10 Minuten simuliert wurden, so dass nach Langzeitanwendung vor allem der abrasiven Reiniger mit deutlich größeren Rauheitswerten und Folgeschäden gerechnet werden muss. Auch Murrar et al. bestätigen, dass bei Zunahme der Abrasivität der Zahnpaste eine Steigerung der Oberflächenrauigkeit mit möglicher Beschleunigung der Zahnsteinanlagerung folgt (Murrar et al, 1986).

Die Ergebnisse lassen den Trugschluss zu, dass die alleinige Reinigung mittels Tablettenreinigungslösungen ausreichend sei. Dem muss widersprochen werden, da unter In vitro - Bedingungen lediglich der Einfluss von jeweils einem färbenden Medium betrachtet wurde. Plaqueakkumulation, sowie die komplexen intraoralen Einflüsse, wie z.B. Zusammensetzung der oralen Flora, zu verstoffwechselndes Substratangebot, wiederholter Konsum verschiedener färbender Medien, zwischenzeitliche Hygienisierungsmaßnahmen, Speichelfluss und -zusammensetzung blieben unberücksichtigt. Zudem kann durch die schonende Trocknung der Werkstoffproben mittels Zellstofftüchern nach der Entnahme aus dem Reinigungsbad ein mechanischer Reinigungseffekt nicht völlig ausgeschlossen werden. Da bei Tablettenreinigern bei nachgewiesener Reinigung eine Oberflächenaufrauung nahezu unterbleibt, kann die einer mechanischen Reinigung nachfolgende Tauchbadreinigung befürwortet werden. Beim Vergleich der verschiedenen Tablettenreiniger wird für die durch Fruchtsäuren pH-saure Kukident Intensiv- Lösung (pH ca. 3) kein besseres Reinigungsvermögen als für die weniger sauren Tablettenreiniger festgestellt.

Nach Literaturangaben kann bei korrekter Dosierung und Einwirkdauer der Reiniger ein Ausfärben/Bleichen der Prothesenkunststoffe und -zähne ausgeschlossen werden. Mitunter ist bei der Überdosierung von Reinigungskonzentraten bzw. verlängerter

Einwirkzeit eine derartige Farbänderung möglich (Jagger and Harrison, 1995; Barlatani, 1999). Experimentell wurde dies im Sinne einer sichtbaren „Aufhellung“ und „Gelbverschiebung“ mit ΔE -Werten $\geq 3,3$ für das Ultraschallreinigungskonzentrat VOCO UL 10 trotz regelgerechter Dosierung und Einwirkdauer nach Mehrfachanwendung bei allen durch Kaffee bzw. Rotwein verfärbten Proben nachgewiesen. Der saure pH-Wert von ca. 4 scheint daran nicht ursächlich beteiligt, da derartige Effekte bei vergleichbar sauren Reinigern nicht gefunden werden. Gleiche Farbänderungen wurden hingegen für die mit Ultraschallreinigungskonzentrat elma clean 35 nach Herstellerangaben gereinigten Sinfony-, Solidex (neu)- und Targis-Prüfkörper nach Lagerung in Kaffee beobachtet.

Die in Labor und Praxis weniger verbreitete Nadelstrahlreinigung ist ein wirksames, mechanisch-chemisches Reinigungsverfahren, welches trotz des stark niedrigen pH-Wertes beider Bäder von ca. 1 zu keiner sichtbaren Aufhellung der Materialproben führt und die Oberflächengüte in vergleichbar niedrigem Ausmaß beeinflusst.

6.12 Oberflächenqualität nach Ausarbeitung und Politur

Die Hauptursache für exogene Verfärbungen von Kompositen liegt in der Oberflächenrauigkeit, die durch formkorrigierende Maßnahmen entsteht und während der Gebrauchsperiode durch Zahnpflegemaßnahmen, mechanische Läsionen und Alterung gesteigert wird (Krämer et al., 1990; Baucks und Hannig, 1995; Rzanny und Welker, 2000; Rzanny et al., 2003b).

Die Polymerisation von Kompositen gegen eine Folie ergibt bekanntermaßen niedrigste initiale Rauheitswerte. Auf Grund der anatomischen Formgestaltung ist jedoch ein freies Auftragen von Verblendkompositen bzw. eine Formkorrektur unumgänglich (Bollen et al., 1997; Rzanny und Welker, 2000; Rzanny et al., 2003b). Dabei sind die Unterschiede zwischen den Ausarbeitungsinstrumenten hinsichtlich der entstehenden Oberflächenbeschaffenheit erheblich. Durch den schneidenden, gleichmäßigen Abtrag der Hartmetallfräse entsteht eine eher glatte Oberfläche, welche wegen der niedrigeren Grundrauheit eine bessere Ausgangssituation für die nachfolgende Politur darstellt als der „rote Diamant“, der durch den zertrümmernden Abtrag nachteilige Rillen und Riefen bei erhöhter Abtragleistung erzeugt (Rzanny und Welker, 2000). Mittels Feinausarbeitung/Politur soll im Anschluss eine optimale Oberflächenqualität realisiert werden, um Plaqueadhäsion und exogene Verfärbung zu vermeiden (Rzanny und Welker, 2000; Rzanny et al., 2003b). Anhand in der Literatur beschrie-

bener klinischer Untersuchungen kann der Grenzwert der Oberflächenrauigkeit für Bakterienretention mit einem R_a von $0,2\text{ }\mu\text{m}$ festgelegt werden. Das Überschreiten dieses Grenzwertes ist mit einer Zunahme der Plaqueakkumulation verbunden (Bollen et al., 1997). Mit Ausnahme des Polierers Politip (Schaft: Winkelstück) wird der genannte Grenzwert auf den untersuchten neuen Verblendkompositen Sculpture und Estenia nach Politur mit modernen Polierwerkzeugen unterschritten. Dabei können mit den mehrstufigen flexiblen Scheibensystemen Gebrüder Brasseler (Schaft: Handstück) und Super Snap (Schaft: Winkelstück) R_a -Werte erreicht werden, wie sie nach Polymerisation unter Folie entstehen. Einige Autoren konnten dies auf Feinpartikelhybridkompositen auch mit Aluminiumoxid-Scheiben (z.B. Sof-Lex, 3M ESPE) erreichen (Baucks und Hannig, 1995; Nagem et al., 2003).

Nach Politur und Bürstenabrasion können nach Literaturangaben auf Mikrofüllerkompositen ebenere Oberflächen als auf Hybridkompositen erzeugt werden. Dabei sind neben der Monomerzusammensetzung auch Füllstoffgehalt, -partikelgröße und -zusammensetzung von Bedeutung (Tanoue et al., 2000; Nagem Filho, 2003). Da die durchschnittliche Partikelgröße der in Sculpture enthaltenen Füllkörper ca. $0,7\text{ }\mu\text{m}$ beträgt, ordneten Tanoue et al. diesen Verblendkunststoff bei den mikrogefüllten Kompositen ein und erklärten so die in ihren Versuchsserien ermittelte erhöhte Abnutzung bei optimaler Oberflächenbeschaffenheit (Tanoue et al., 2000). Diese Ergebnisse verhalten sich konträr zu denen der eigenen Versuche. Für Sculpture, welches zu den Feinstpartikelhybridkompositen zählt, wurden hohe Verschleißfestigkeit und gute Polierbarkeit ermittelt. Für das Mikrofüllerkomposit Signum konnten Rzanny et al. mit allen zur Verfügung stehenden Polierinstrumenten keine niedrigeren Oberflächenrauigkeiten als auf Hybridkompositen erreichen. Neben Größe, Art und Menge der Füllkörper scheinen auch die Polierwerkzeuge an sich die Oberflächenqualität zu beeinflussen (Rzanny et al., 2003b).

7. Schlussfolgerungen

Mechanische Festigkeit:

- Die neuen Verblendkomposite Estenia und Sculpture sind im Vergleich zu den Referenzmaterialien durch höhere mechanische Festigkeiten gekennzeichnet. Dabei hebt sich das hochgefüllte Estenia mit zumeist doppelt so hohen Festigkeitswerten deutlich von den anderen Produkten ab. Das matrixmodifizierte Sculpture ist mechanisch fester als Vergleichsmaterialien auf Dimethacrylatbasis.
- Estenia und Sculpture zeigen gegenüber den Referenzmaterialien einen deutlich höheren Abrasionswiderstand.
- Die Haftfestigkeit von Estenia und Sculpture an Legierungsoberflächen ist gegenüber den Vergleichskompositen deutlich erhöht, natürlich unter der Voraussetzung, dass funktionierende Verbundsysteme eingesetzt werden.
- Zur Reparatur von Estenia und Sculpture eignet sich in Verbindung mit einem Bonding der niedrigvisköse Kunststoff Sinfony, welcher allerdings durch verhältnismäßig hohe Abrasionsneigung und niedrige Härte gekennzeichnet ist. Eine begrenzte Lebensdauer der Reparatur ist auch wegen der stark reduzierten Haftfestigkeit nach künstlicher Alterung nicht auszuschließen.

Durchhärtung

- Bei einer Schichtdicke von maximal 2,5 mm und mindestens 20 s Belichtung mittels handelsüblichem Lichtpolymerisationsgerät ist eine vollständige Durchhärtung aller untersuchten Verblendkomposite möglich. Gegenüber Estenia und den vergleichbar viskösen Referenzmaterialien zeichnet sich das neue Material Sculpture durch eine hohe Durchhärtungssicherheit aus.

Wasseraufnahme:

- Das neue Verblendkomposit Estenia ist mit Abstand durch die niedrigste Wasseraufnahme gekennzeichnet, während sich Sculpture von den Referenzmaterialien nur wenig unterscheidet.
- Ein Zusammenhang zwischen Wasseraufnahme und exogener Verfärbungsneigung der Produkte besteht nicht.

Polymerisationsschrumpfung

- Estenia zeichnet sich durch die kleinste Polymerisationsschrumpfung aus, wohingegen Sculpture den Referenzkompositen gleichzusetzen ist.
- Das ebenfalls neue Material Gradia zeigt gegenüber den Referenzkunststoffen eine stärkere Polymerisationskontraktion.

Gefügefehler:

- Die Materialhomogenität ist bei den modernen Einkomponentenmaterialien Estenia und Sculpture gegeben, was den mechanischen Eigenschaften und der Farbstabilität zugute kommt.

Exogene Verfärbungsneigung:

- Artglass, sowie die modernen Produkte Sculpture und Estenia zeigen gegenüber den übrigen Materialien eine geringfügig höhere exogene Verfärbungsneigung.
- Das neue Verblendkomposit Gradia zeichnet sich im Experiment, gefolgt von dem Referenzmaterial Targis, durch vergleichsweise geringe exogene Verfärbungen aus.

Reinigung:

- Exogene Verfärbungen von hochgefüllten und abrasionsfesten Feinstkornhybridkompositen können unter geringgradiger Oberflächenverschlechterung i.d.R. mit handelsüblichen Zahnersatz-Reinigern und Reinigungsverfahren beseitigt werden.
- Durch mechanische Hygienisierungsverfahren, d.h. primär Zahnbürste und Zahnpaste, Schaum oder Haushaltsreiniger findet neben der Reinigung in jedem Fall eine Oberflächenaufrauung statt. Bei geringem Anpressdruck und richtiger Putztechnik kann die stärkere Oberflächenaufrauung durch abrasive Reiniger, wie z.B. Colgate sensation white und Sidol, minimiert werden. Von einem täglichen Gebrauch abrasiver Reiniger sollte allerdings abgesehen werden. Auch sollten niedriggefüllte Verblendkunststoffe wie Sinfony und Soli-dex wegen der geringeren Verschleißfestigkeit und der Aufhellungsneigung nicht mit diesen Reinigern bearbeitet werden.

- Die chemische Tauchbadreinigung mit Tablettenreinigern ist das schonenste Verfahren der Zahnersatzreinigung, als alleinige Maßnahme jedoch nicht ausreichend und nicht zuletzt wegen der materialabhängigen, teilweise unzureichenden Reinigungskraft hypoabrasiver Zahnpasten nur als Unterstützung zur mechanischen Reinigung zu betrachten. Die Tablettenreiniger unterscheiden sich in ihrem Reinigungsvermögen nur unwesentlich.
- Eine häusliche Ultraschallreinigung kann nicht befürwortet werden, da bei häufigem Gebrauch materialabhängig mit Aufhellungen gerechnet werden muss.
- Auf Grund der guten Reinigungswirkung der Nadelstrahlverfahren steht auch deren häufiger Anwendung nichts entgegen. Aus Kostengründen bleibt der Einsatz jedoch der zahnärztlichen Praxis bzw. dem Labor vorbehalten.

Oberflächenrauigkeit nach Ausarbeitung und Politur:

- Die Ausarbeitung von Verblendkompositen mit diamantierten Werkzeugen ist wegen der starken Oberflächenaufrauung und der nachfolgenden zeitintensiven Politur nicht zu empfehlen. In Labor und Praxis sollten statt dessen eine kreuzverzahnte Hartmetallfräse bzw. Finierer benutzt werden.
- Eine zufriedenstellende Politur mit grenzwertunterschreitendem arithmetischem Mittenrauwert $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ ist mit modernen Polierwerkzeugen bei den neuen Materialien Estenia und Sculpture ohne weiteres möglich. Eine Ausnahme macht bei Estenia der Politip-Polierer. Mit den meisten Instrumenten sind sogar Rauigkeitswerte von $R_a \leq 0,1 \mu\text{m}$ erreichbar, was für die Minimierung der Absorption von Plaque- und Farbpartikeln, sowie deren Entfernung äußerst günstig ist.
- Die flexiblen Scheibensysteme für Hand- und Winkelstück führen immer zu sehr guten Ergebnissen, wobei auf den Einsatz der groben Konturierscheiben, bei Super Snap sogar auf die nächstfolgend feinere Stufe verzichtet werden sollte, vorausgesetzt die Ausarbeitung erfolgt mit einer kreuzverzahnten Hartmetallfräse bzw. mit Finierern. Werden diamantierte Instrumente zur Ausarbeitung benutzt, so müssen alle Stufen der mehrstufigen Polierscheibensysteme verwendet werden. Können die Polierdisks aus Gründen der Unzugänglichkeit nicht angewendet werden, empfiehlt sich der kelchförmige Compomaster (Schaft: Handstück) bzw. der zweistufige Diagloss-Polierer (Schaft: Winkel-

stück). Auch die im zahnärztlichen Labor meist vorhandene Polierstraße (Meisinger Tool Kit) kann unter Verzicht auf die Zwischenstufen "weiße Bürste" und "Ziegenhaarbürste" zur Politur empfohlen werden.

Die Erwartungen hinsichtlich verbesserter Materialeigenschaften werden von den Neuentwicklungen Estenia und Sculpture erfüllt. Gradia zeigt dagegen den Referenzmaterialien entsprechende oder zum Teil sogar schlechtere mechanisch-physikalische Werkstoffeigenschaften.

Die modernen Verblendkomposite Estenia und Sculpture reduzieren aus experimenteller Sicht den „Abstand“ zwischen Kunststoff- und Keramikverblendung deutlich. In welchem Maß sich die prognostizierte klinische Haltbarkeit von 6 Jahren (Hofmann, 1974) bzw. 9 Jahren (Janda, 2000) verlängert, kann jedoch nur durch klinische Langzeitbeobachtungen beantwortet werden.

8. Literaturverzeichnis

1. Bargel HJ: Werkstoffprüfung. In: Bargel HJ und Schulze G (Hrsg.): Werkstoffkunde, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg (2000) S. 110-112.
2. Barlattani A (1999) Oralhygieneempfehlung für Prothesenträger. Dental Forum 1:8-11.
3. Baucks R und Hannig M (1995) Oberflächenbearbeitung von Komposit – Eine rasterelektronenoptische Studie. ZWR 104:372-377.
4. Bauer CM, Kunzelmann KH und Hickel R (1995) Simulierter Nahrungsabrieb von Kompositen und Omoceren. Dtsch Zahnärztl Z 50:635-638.
5. Bollen CML, Lambrechts P and Quirynen M (1997) Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. Dent Mater 13:258-269.
6. Bourrelly G und Tzovas S (1994) Conquest C/B, Ein neues und funktionsfähiges Material für die Zahntechnik auf der Basis von Polykarbonat-Dimethacrylaten. Quintessenz Zahntech 20:1147-1161.
7. CIELAB-Systembeschreibung (2002), Internetveröffentlichung:1-3.
8. Combe EC: Kunststoffe. In: Combe E C (Verf.), Dermann K (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe, Carl Hanser Verlag, München Wien (1984) S.49-58.
9. Condo SG (1999) Zur Technologie moderner Prothesenreiniger. Dental Forum 1:12-15.
10. Cross MD and Moser JB (1977) A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resin. J Oral Rehabil 4:311.
11. De Gee AJ, Pallav P and Davidson CL (1986) Effect of Abrasion Medium on Wear of Stress-bearing Composites and Amalgam in vitro. J Dent Res 65:654-658.
12. Egger B (2002) Die Weiterentwicklung der computergestützten Farbbestimmung. Quintessenz Zahntech 28:876-884.
13. Eldiwany M, Friedl KH and Powers JM (1995) Color stability of light-cured and post-cured composites. Am J Dent. 8:179-181.
14. Ernst CP (2003) Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite. zm 93:790-800.
15. Finger W: Begriffsbestimmung der Werkstoffprüfung. In: Eichner K und Kap-pert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Georg Thie-me Verlag, Stuttgart New York (2000) S. 387-390.

16. Fischer U, Braun H, Döflinger R, Doll W, Heinzel M, Höll H, Ignatowitz E, Kudlich H, Meyer W, Nist G, Röhrer W und Schilling K: Längenprüftechnik und Qualitätssicherung. In: Fischer U, Braun H, Döflinger R, Doll W, Heinzel M, Höll H, Ignatowitz E, Kudlich H, Meyer W, Nist G, Röhrer W und Schilling K (Hrsg.): Fachkunde Metall, Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co., Haan-Gruiten (1990) S. 29-31, S. 288- 289.
17. Frenzel C und Viohl J (1994) Biegefestigkeit von neun Kompositen in Abhängigkeit von verschiedenen Reparaturverfahren. Dtsch Zahnärztl Z 49:729-732.
18. Gebhardt U: Versuch Oberflächenmessung. In: Gebhardt U und Gerlach E (Hrsg.): Praktikumsanleitung - Labor Fertigungsmesstechnik, Berufsakademie Eisenach (2001) S. 1-9.
19. Göbel R und Musil R: Verblendkunststoffe. In Meiners H und Lehmann KM (Hrsg.): Klinische Materialkunde für Zahnärzte, Carl Hanser Verlag, München Wien (1998) S. 337-347.
20. Göbel R und Welker D (2000) Anorganische Legierungs-Kunststoff-Verbundverfahren: Silikatisierung, Silanisierung, Verzinnen. Quintessenz Zahntech 26:733-743.
21. Göbel R und Welker D (2001) Organische Legierungs-Kunststoff-Verbundverfahren. Quintessenz Zahntech 27:197-203.
22. Göbel R und Welker D (2004) Welche Faktoren bestimmen die Festigkeit des Legierungs-Kunststoff-Verbundes?. ZWR 113:306-313.
23. Ho CT, Vijayaraghavan TV, Lee SY, Tsai A, Huang HM and Pan LC (2001) Flexural behaviour of post-cured composites at oral-simulating temperatures. J Oral Rehabil 28:658-667.
24. Hofmann M (1974) Metallverblendungen durch Kunststoffe. Dtsch Zahnärztl Z 29:455-458.
25. Hofmann M (1980) Ästhetische Langzeitwirkung von kunststoffverblendetem Zahnersatz. Dtsch Zahnärztl Z 35:849-858.
26. Hommelwerke GmbH Firmenschrift, Rauheitsmessung – Theorie und Praxis (1993).
27. Imfeld T, Sener B und Lutz F (1998) Mechanische Wirkung von in der Schweiz marktführenden Zahnpasten auf Dentin. Acta Med Dent Helv 3:54-59.
28. Jagger DC and Harrison A (1995) Denture cleansing – the best approach. Br Dent J 178:413-417.
29. Janda R: Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Eichner K und Kappert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York (2000a) S. 175, 198.

30. Janda R (2000b) Verblendkomposits - werkstoffwissenschaftliche Aspekte. Quintessenz Zahntechn 26:53-64.
31. Jang Z, Jia W und Prasad A (1998) Nichtlösliche Dentalkomposite. Veröffentlichung von Jeneric/Pentron Deutschland GmbH, 05/98.
32. Joachim U (1991) Beitrag zur computergestützten Farbgebung zahnärztlicher Werkstoffe am Beispiel eines mikrogefüllten Composite-Kunststoffes. Med Diss, FSU Jena.
33. Jung T und Borchers L: Schleif- und Poliermittel. In: Eichner K und Kappert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York (2000) S. 373-375.
34. Kappert HF: Keramische Verblendmassen. In: Meiners H und Lehmann KM (Hrsg.): Klinische Materialkunde für Zahnärzte, Carl Hanser Verlag, München Wien (1998) S. 313-324
35. Kolbeck C, Rosentritt M, Behr M, Lang G und Handel G (2003) Farbbeständigkeit von Verblendkompositen nach künstlicher Alterung, Verfärbungslagerung und Reinigung. Dtsch Zahnärztl Z 58:14-18.
36. Kollmannsprenger P und Venz S (1980) Vergleich der physikalischen Eigenschaften von Kompositen und poilerbaren Füllungskunststoffen. Dtsch Zahnärztl Z 35:934-938.
37. Krämer A, Netuschil L und Simonis A (1990) Plaqueanlagerung an verschiedenen Verblendkunststoffen – eine klinische Studie. Dtsch Zahnärztl Z 45:482-484.
38. Kullmann W: Grundlagen zahnärztlicher Restaurationskunststoffe. In: Kullmann W (Hrsg.): Atlas der Zahnerhaltung mit Glas-Ionomer-Zementen und Komposit-Kunststoffen, Hanser Verlag, München Wien (1990) S. 76.
39. Langner N (1997) Die fiberglasverstärkte Vollkunststoffbrücke. Zahntech Mag 1:176-182.
40. Leithold M (2003) Persönliche Mitteilungen.
41. Leithold M (2004) Experimentelle Untersuchungen zu Reparaturtechnologien für abnehmbaren und festsitzenden Zahnersatz. Zahnmed Diss, FSU Jena.
42. Lenk-Mimietz K (1995) Werkstoffkundliche Untersuchung zweier experimenteller lichthärtender Füllungscomposites im Vergleich zu fünf kommerziellen Compositematerialien. Zahnmed Diss, FSU Jena.
43. Leps G und Schmiedel H: Prüfung der mechanischen Eigenschaften von hochpolymeren Werkstoffen. In: Schmiedel H, Bartnig K, Hauptmann P, Kießling D, Schiefer H, Schröder E und Rufke B (Hrsg.): Prüfung hochpolymerer Werkstoffe, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1977) S. 116-117.

44. Lindemann W und Körber E (1985) Untersuchung über die Oberflächenbeschaffenheit zahnärztlicher Verblendkunststoffe. Dtsch Zahnärztl Z 40:82-86.
45. Luce MS and Campbell CE (1988) Stain potential of four microfilled composites. J Prosthet Dent 60:151-154.
46. Ludwig K (1997) Werkstoffkunde der Verblendwerkstoffe. Quintessenz Zahntechnik 23:683-692.
47. Lutz F, Imfeld T und Mörmann W (1981) Komposits: Mikrofüller, Füllstoffgehalt und Polierbarkeit. Swiss Dent 2:11-19.
48. Marxkors R und Meiners H: Kunststoffverblendung, Abrasion und Zahnpflege, Indikation. In: Marxkors R und Meiners H (Hrsg.): Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffe, Carl Hanser Verlag, München Wien (1988) S. 154-156.
49. Michejew N und Kunzelmann KH (2003) Einfluss der Last und der Geschwindigkeit auf den Kontaktabrieb eines Füllungsmaterials. Dtsch Zahnärztl Z 58:401-405.
50. Murray D, McCabe JF and Storer R (1986) Abrasivity of denture cleaning pastes in vitro and in situ. Br Dent J 161:137-141.
51. Nagem FH, D'Azevedo MTFS, Nagem HD and Marsola FP (2003) Surface Roughness of Composite Resin After Finishing and Polishing. Braz Dent J 14:37-41.
52. Pallav P, De Gee AJ, Werner A and Davidson CL (1993) Influence of Shearing Action of Food on Contact Stress and Subsequent Wear of Stress-bearing Composites. J Dent Res 72:56-61.
53. Pilch R und Guggenberger R (1990) Kronen- und Brückenverblendmaterialien auf der Basis lichthärtender Komposites. Quintessenz Zahntechnik 16:589-598.
54. Pioch T, Dörfer C und Staehle HJ: Composite. In: Meiners H und Lehmann KM (Hrsg.): Klinische Materialkunde für Zahnärzte, Carl Hanser Verlag, München Wien (1998) S. 132-137.
55. Raecke H (1979) Farbveränderungen von zahnärztlichen Kunststoffen durch Bestrahlung mit XENON-Lampen. Zahnmed Diss, FU Berlin.
56. Raser G (2002) Behandlung der bereitgestellten Kunststoffprüfkörper mit dem ECOCLEAN-Verfahren. Versuchsanleitung.
57. Regnet T, Rosentritt M, Behr M, Lang R und Handel G (2003) Farbbeständigkeit von Verblendkompositen nach Verfärbungslagerung und Reinigung mit und ohne vorhergehende künstliche Alterung. Poster der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universität Regensburg auf der 127. Tagung der DGZMK in Aachen im Oktober 2003.

58. Reinhardt KJ und Vahl J (1977) Korrelation zwischen Härte und Abrieb photopolymerisierbarer Schmelzadhäsive. Dtsch Zahnärztl Z 36:625-628.
59. Reinhardt KJ und Vahl J (1980) Restmonomergehalt und Wasseraufnahme UV-polymerisierbarer Adhäsive und Füllungskunststoffe. Dtsch Zahnärztl Z 35:564-570.
60. Reinhardt KJ und Vahl J (1983) Beeinflusst Feuchtigkeit die Polymerisationsreaktion von Kompositen? Dtsch Zahnärztl Z 38:1070-1072.
61. Reitemeier B, Reuther G, Richter G und Böhm B (1994) Vergleichende werkstoffkundliche Prüfung licht- bzw. heißpolymerisierender Verblendkunststoffe. ZWR 103:440-447.
62. Riehle M und Simmchen E: Eigenschaften der Werkstoffe und ihre Prüfung. In: Riehle M und Simmchen (Hrsg.): Grundlagen der Werkstofftechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart (1997) S. 29, 80-86, 140-146, 214-215.
63. Rufke B: Verhalten gegenüber Medien. In: Schmiedel H, Bartnig K, Hauptmann P, Kießling D, Schiefer H, Schröder E und Rufke B (Hrsg.): Prüfung hochpolymerer Werkstoffe, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1977) S. 349-353.
64. Rueggeberg FA, Caughmann WF, Curtis JW and Davis HC (1993) Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 6:91-95.
65. Ruyter IE, Nilner K and Möller B (1987) Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mat 3:246-251.
66. Rzanny A und Welker D (1998) Werkstoffkundliche Eigenschaften von Feinst-Hybrid-Kompositen und Kompomeren. ZWR 107:743-748.
67. Rzanny A und Welker D (1999a) Materialkundlicher Fortschritt bei Füllungswerkstoffen?. ZWR 108:650-660.
68. Rzanny A und Welker D (1999b) Verblendkompositen im werkstoffkundlichen Vergleich: Artglass, Sinfony und Targis. ZT 6:331-336.
69. Rzanny A und Welker D (2000) Bearbeitung moderner Verblend- und Füllungskomposite. teamwork 3:203-212.
70. Rzanny A, Göbel R und Welker D (1995) Quasistatische Prüfung an 21 Füllungs- und Verblendkompositen. ZWR 104:698-703.
71. Rzanny A, Göbel R und Welker D (2003a) Moderne Verblendkunststoffe - eine werkstoffkundliche Studie. Quintessenz Zahntech 29:58-72.
72. Rzanny A, Dörnbrack M, Welker D und Fachet M (2003b) Optimierung der Oberflächenqualität von Kompositen unterschiedlicher Indikation. Dtsch Zahnärztl Z 58:533-537.

73. Schaller HG, Menner T, Hahn P und Götze W (1995) Die Reparaturfestigkeit von Kompositen nach unterschiedlicher Konditionierung der Reparaturfläche. *Stomatologie* 92:17-23.
74. Schmiedel H: Flüssige, gas- oder dampfförmige Medien. In: Schmiedel H (Hrsg.): *Handbuch der Kunststoffprüfung*. Hanser Verlag, München Wien (1992) S. 318-321.
75. Schulze K, Tinschert J, Marshall SJ und Marshall GW (2003) Der Einfluss der Alterung auf die Farbbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit von Kompositen. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:266-272.
76. Schwickerath H (1980) Wasseraufnahme von Kunststoffen im Langzeitversuch. *Dtsch Zahnärztl Z* 35:931-933.
77. Seher J und Viohl J (1992) In vitro - Verfärbungen von Kunststoffen durch Farbstoffe und UV-Strahlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 47:634-636.
78. Setz J und Engel E (1994) Klinische Untersuchungen zur Farbbeständigkeit von Verblendkunststoffen. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:735-737.
79. Soltész U, Klaiber B und Schlude V (1980) Bürstenabrasion mit 27 handelsüblichen Composites und ihre Oberflächenveränderung im Rasterelektronenmikroskop. *Dtsch Zahnärztl Z* 35:502-505.
80. Springwaldt N, Wagner I, Haberland E, Müller WD (1989) Experimentelle Untersuchungen zu Reparaturmöglichkeiten an feststehendem plastverblendetem Zahnersatz. *Zahn Mund Kieferheilk* 77:44-45.
81. Suzuki S (1996a) Wissenschaftliche Untersuchungen – Conquest Sculpture Jeneric/Pentron. Veröffentlichung Jeneric/Pentron, 08/96.
82. Suzuki S, Suzuki SH and Cox CF (1996b) Evaluating the antagonistic wear of restorative materials when placed against human enamel. *J Am Dent Assoc* 127:74-80.
83. Tanoue N, Matsumura H and Atsuta M (2000) Wear and surface roughness of current prosthetic composites after toothbrush/dentifrice abrasion. *J Prosthet Dent* 84:93-97.
84. Tappe A, Lemke G und Müller C (1995) Abrieb von Verblendkunststoffen nach Zahnbürste/Zahnpaste-Behandlung – eine In vitro-Untersuchung. *Stomatologie* 92:111-115.
85. Touati B, Miara D and Nathanson D: Keramik-Inlays und Onlays In: Touati B, Miara D and Nathanson D; übersetzt und bearbeitet durch Schmalz G und Federlin M (Hrsg.): *Ästhetische Zahnheilkunde und keramische Restaurationen*, Urban & Fischer Verlag, München Jena (2001) S. 288-291.
86. Tschernitschek H (1999) Prothesenhygiene aus Sicht der Patienten - Prevention Isn't Just For Kids?. *Dental Forum* 9:3-7.

87. Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T and Vaidyanathan TK (1998) Color stability of dental composites as a function of shade. J Prosthet Dent 79:372-377.
88. Versluis A, Douglas WH and Sakaguchi RL (1996) Thermal expansion coefficient of dental composites measured with strain gauges. Dent Mater 12:290-294.
89. Viohl J (1974) Werkstoffkundliche Untersuchung der Wasseraufnahme und Biegefestigkeit von Kunststoff-Füllungsmaterialien. Dtsch Zahnärztl Z 29:442-449.
90. Viohl J und Gerhardt P (1975) Wasseraufnahme und Löslichkeit von 3 Füllungskunststoffen in Abhängigkeit von der Probenstärke und der Zeit. Dtsch Zahnärztl Z 30:340-344.
91. Weber T: Klassifikation der Kompositmaterialien. In: Weber T (Hrsg.): Memorix Zahnmedizin, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York (1999) S. 340.
92. Welker D: Prothesenkunststoffe. In: Eichner K und Kappert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Georg Thieme, Verlag Stuttgart New York (2000) S. 234, 244.
93. Willytec, Bedienungsanleitung 3-Medien-Abrasionsmaschine.
94. Windecker D (1969) Zur Verblendung der Frontzahnbrücke mittels Kunststoffschalen - klinische und werkstoffkundliche Untersuchungen. Dtsch Zahnärztl Z 24:717-725.
95. Wollwage P (1986) Verblendwerkstoffe für Kronen und Brücken. Ivoclar-Vivadent-Report 3:3-12.
96. Zwick GmbH & Co.: Firmenschrift zur Zwick 1435 Universalprüfmaschine, Ulm
97. Zanghellini G und Voser D (1993a) Ein Beitrag zur Natur des Metall/Kunststoffverbundes. Ivoclar-Vivadent-Report 8:3-11.
98. Zanghellini G und Voser D (1993b) Eigenschaften von Verblendkunststoffen nach ISO-Standard 10477. Report 8:13-18.

9. Anhang

Ergebnistabellen

Die im Anhang aufgeführten Abkürzungen sind dem Abkürzungsverzeichnis zu entnehmen.

Tab. 12: Biegefestigkeit [MPa]

	1 d H ₂ O, 37 °C			25000 TLW			90 d H ₂ O, 37 °C		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
AG	128	8,3	9	124	22,7	12	137	17	8
ES	171	25,9	6	151	22,5	5	173	32	4
GR	138	11,3	8	126	8,8	5	117	12,1	8
SC	175	23,7	9	152	20,2	11	153	24	8
SG	102	10,9	13	84	10,1	10	105	9,6	12
SN	166	20	8	150	16,6	11	129	14,2	7
SO	100	11	9	51	9,8	9	77	15,6	9
TA	117	15,5	10	97	11,0	7	121	31,5	10

Tab. 13: Elastizitätsmodul [MPa]

	1 d H ₂ O, 37 °C			25000 TLW			90 d H ₂ O, 37 °C		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
AG	7714	449	7	7589	932	9	8494	886	10
ES	12241	1666	7	10331	805	5	14000	1293	5
GR	6257	686	11	6458	703	5	6253	633	9
SC	9744	1318	11	9683	1183	11	10565	1572	9
SG	3751	540	15	4183	629	10	4625	479	15
SN	5123	623	10	4963	448	8	3436	303	7
SO	5739	764	9	4350	921	9	5905	1026	8
TA	6982	730	9	6818	997	9	8352	1043	8

Tab. 14: Druckfestigkeit [MPa]

	1 d H ₂ O, 37 °C			25000 TLW			90 d H ₂ O, 37 °C		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
AG	186	20	6	215	31,2	6	206	28	9
ES	374	39	9	345	44,1	5	246	14	7
GR	193	16,3	8	236	23,4	8	233	28,9	8
SC	219	23,3	11	193	17,9	8	202	43	7
SG	222	25,6	9	175	25,4	15	223	28,8	9
SN	146	13,8	5	154	27,8	5	220	23,9	8
SO	222	14,4	10	237	13,5	12			
TA	187	22	6	200	25,7	5	177	36,3	6

Tab. 15: Vickers Härte HV₅₋₂₀

	1 d H ₂ O, 37 °C			25000 TLW			90 d H ₂ O, 37 °C		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
AG	49	1	5	48	0,8	8	53	1,7	11
ES	149	10,9	10	136	3,3	8	138	7,4	10
GR	45	1,3	5	44	1,1	8	41	1,0	7
SC	74	5,7	9	68	2,4	11	72	4,0	12
SG	35	1,2	10	33	0,6	8	33	0,7	10
SN	32	1,1	5	28	1,4	8	31	1,3	13
SO	47	1,5	10	42	0,7	10	48	2,1	11
TA	60	1,8	7	52	1,5	7	66	2,5	8

Tab. 16: Abrasion [mm²]

	\bar{x}	s	n
Am	0,197	0,045	30
AG	0,343	0,046	30
ES	0,070	0,011	25
GR	0,354	0,043	34
SC	0,191	0,025	36
SG	0,481	0,034	34
SN	0,441	0,069	32
SO	0,316	0,044	33
TA	0,274	0,035	32

Tab. 17: Scherhaftfestigkeit [MPa] von SC mit unterschiedlichen organ. Verbundsystemen

	\bar{x}	s	n
a	11,0	1,1	4
b	4,5	1,9	5
c	7,0	1,3	5
d	7,6	3,2	4
e	13,0	1,8	5
f	8,0	2,0	5
g	16,0	1,6	5

Tab. 18: Scherhaftfestigkeit [MPa] Verbundsystem: Rocatec - Gradia Opaker

	\bar{x}	s	n
AG	30	1,5	4
ES	37	1,3	4
GR	30	2,1	4
SC	36	1,8	4
SG	21	1,1	4
SN	30	2,9	4
SO	22	1,5	4
TA	27	1,0	4

Tab.19: Reparaturfestigkeit [MPa] von Sculpture und Estenia mit unterschiedlichen Bondingsystemen und Verblendkompositen

	1 d H ₂ O, 37 °C			25000 TLW		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
A	3,2	2,4	5	-	-	-
B	10,3	2,3	6	-	-	-
C	16,6	1,7	6	-	-	-
D	20,2	3,6	6	6,14	1,32	10
E	8,6	3,1	6	-	-	-
F	9,5	2,7	6	-	-	-
G	16,2	2,7	5	1,59	0,95	10

Tab. 20: Durchhärtungstiefe [mm]

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
Belichtungszeit [s]								
20	3,8	3,7	4,9	4,3	5,3	6,0	3,9	2,5
40	4,8	4,1	5,6	5,3	5,6	7,8	5,0	3,0
60	5,4	4,2	6,0	6,0	6,8	9,0	5,3	3,5
80	6,4	4,3	6,5	6,7	7,7		5,3	3,7
100	6,7	4,4	6,8	7,3	8,0		6,0	3,7
180	8,3	5,8	7,5	9,0	9,0		6,9	3,8

Tab. 21: Wasseraufnahme bis zur Sättigung [Masse%]

d	AG	GR I	GR II	ES	SC	SG	SN	SO	TA
1	0,320	0,437	0,382	0,126	0,315		0,260	0,601	0,301
2	0,350	0,595	0,534		0,409		0,371	0,802	0,332
3			0,649						
4			0,725					1,002	
5				0,226	0,63				
6	0,604			0,226			0,594	1,082	0,482
7		1,07	0,954	0,226					
8				0,252					
9	0,731				0,504		0,743		
12				0,252	0,504			1,162	0,603
14	0,890	1,35	1,22	0,277	0,504		0,854		0,603
21	0,922	1,51	1,37	0,277			0,892	1,162	0,663
28	0,922	1,67	1,49				0,930		0,693
35	0,922	1,67	1,56				0,892		
42	0,922	1,75	1,64				0,892		
49	0,922	1,79	1,64				0,892		
56	0,922	1,79					0,892	1,122	
63	0,922	1,79					0,892	1,122	0,723
70	0,922	1,79					0,892	1,122	0,723
77	0,922	1,79	1,79				0,892	1,122	0,723
84	0,922	1,79					0,892	1,122	0,723
90	0,922	1,79	1,83	0,352	0,693		0,892	1,122	0,723

Tab. 22: Polymerisationsschrumpfung [%lin]

	\bar{x}	s	n
AG	1,99	0,05	5
ES	0,56	0,17	5
GR	2,06	0,20	5
SC	1,80	0,20	9
SN	4,00	0,34	5
SG	1,60	0,23	7
SO	1,39	0,06	5
TA	1,83	0,23	7

Tab. 23a: ΔE -Werte nach 4wöchiger Lagerung in färbenden Medien und aqua dest.

	Kaffee	Tee	Tabak	Methylenblau	Rotwein	aqua dest.
AG	3,28	3,91	4,20	13,68	7,40	0,71
ES	3,02	6,08	4,49	17,80	11,02	0,82
GR	1,80	1,70	1,61	24,35	5,10	0,50
SC	2,64	3,61	4,10	15,35	9,50	3,17
SG	2,34	4,64	4,67	11,48	4,82	1,57
SN	2,39	2,58	8,99	15,11	4,34	0,55
SO	2,62	3,81	2,73	22,67	6,00	0,68
TA	2,09	2,52	1,79	31,45	5,98	2,10

Tab. 23b: Subjektive Einschätzung - Mittelwerte nach 4wöchiger Lagerung in färbenden Medien und aqua dest.

	Kaffee	Tee	Tabak	Methylenblau	Rotwein	aqua dest.
AG	1,00	2,00	1,49	2,86	2,43	0,00
ES	1,14	1,71	1,00	3,00	3,00	0,00
GR	0,71	1,23	1,00	2,86	2,14	0,00
SC	0,86	1,42	1,00	3,00	2,71	0,00
SG	0,71	1,71	1,00	2,71	1,86	0,00
SN	0,71	1,00	1,00	2,71	1,57	0,00
SO	0,86	1,42	0,86	3,00	2,43	0,00
TA	1,00	1,29	0,86	3,00	2,23	0,00

Tab. 23c: Verfärbungsgrad V als Maß für die exogene Verfärbung

	Kaffee	Tee	Tabak	Methylenblau	Rotwein	aqua dest.
AG	1,47	1,75	1,88	6,12	3,31	0,32
ES	1,35	2,72	2,00	7,96	4,93	0,37
GR	0,81	0,76	0,72	7,58	2,28	0,22
SC	1,18	1,61	1,83	6,87	4,25	1,42
SG	1,05	2,08	1,19	5,14	2,17	0,70
SN	1,07	1,15	4,02	6,76	1,94	0,24
SO	1,17	1,70	1,22	10,14	2,68	0,30
TA	0,93	1,13	0,80	14,06	2,67	0,94
Mittelwert x	1,13	1,61	1,71	8,08	3,03	0,56
Streuung s	0,21	0,61	1,05	2,83	1,06	0,43

Tab. 24: R_a [μm] nach verschiedenen Ausarbeitungsinstrumenten

	ES	SC
Folie	0,09	0,04
HMF	0,21	0,30
W12	0,16	0,12
W32	0,21	0,10
W12/32	0,14	0,11
grü D	-	3,31
ro D	-	1,31
gel D	-	0,52
wei D	-	0,16

Tab. 25: R_a [μm] Politur nach HMF

	ES	SC
KP	0,17	0,16
BR	0,09	0,05
CM/Kelch	0,09	0,06
CM	0,10	0,09
PS	0,08	0,06
SS	0,08	0,05
PT	0,31	0,10
DG	0,08	0,08

Tab. 26: R_a [µm] Politur nach W12

	ES	SC
KP	0,17	0,17
BR	0,07	0,05
CM/ Kelch	0,09	
SS	0,07	0,04
PT	0,2	0,11

Tab. 27: R_a [µm] Politur nach ro D

	SC
SS	0,12

Tab. 28: ΔE- Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Ultraschall-reiniger VOCO UL 10

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,0	0,1	4,7	5,11	2,0	-1,8	3,0	4,03
SN	-0,8	1,0	4,7	4,87	3,1	-0,8	3,5	4,74
SO	-3,5	1,4	3,7	5,28	1,8	-0,8	3,2	3,76
SO (neu)	-1,2	0,8	6,0	6,17	2,7	-0,9	5,6	6,28
TA	-2,0	1,7	3,1	4,06	2,5	-0,2	2,7	3,69

Tab. 29: ΔE-Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger VOCO UL 10

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,8	-3,3	-5,0	6,61	1,4	-3,3	0,0	3,58
SN	-1,8	-1,8	-2,2	3,36	0,8	-2,3	0,8	2,56
SO	-5,2	-1,9	-5,0	7,46	0,9	-2,1	0,4	2,32
SO (neu)	-14,5	-3,7	-15,6	21,62	-4,5	-2,4	-5,9	7,80
TA	-0,9	-1,9	-0,6	2,19	1,5	-1,5	0,6	2,20

Tab. 30: ΔE-Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Ultraschall-reiniger VOCO UL 10

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-13,0	5,1	6,4	15,36	2,0	-0,6	3,2	3,82
SN	-14,7	7,7	2,2	16,74	3,6	-0,5	2,9	4,65
SO	-12,5	5,2	1,1	13,58	2,5	-0,4	2,7	3,70
SO (neu)	-20,8	8,9	2,2	22,73	2,2	-0,2	3,2	3,89
TA	-17,7	7,2	-3,9	19,50	2,5	-0,2	3,1	3,99

Tab. 31: ΔE-Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Ultraschallrei-niger elma clean 35

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,0	0,1	4,7	5,11	2,0	-1,2	1,0	2,54
SN	-0,8	1,0	4,7	4,87	3,1	-0,9	3,9	5,06
SO	-3,5	1,4	3,7	5,28	1,1	-0,6	1,7	2,11
SO (neu)	-1,2	0,8	6,0	6,17	2,5	-0,7	4,6	5,28
TA	-2,0	1,7	3,1	4,06	2,6	-0,4	2,9	3,92

Tab. 32: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger elma clean 35

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,8	-3,3	-5,5	6,61	1,4	-3,7	-2,2	4,53
SN	-1,8	-1,8	-2,2	3,36	0,0	-1,5	0,5	1,58
SO	-5,2	-1,9	-5,0	7,46	-0,5	-2,3	-0,8	2,49
SO (neu)	-14,5	-3,7	-15,6	21,62	-11,5	-4,0	-13,4	18,11
TA	-0,9	-1,9	-1,4	2,53	-0,1	-2,2	0,1	2,20

Tab. 33: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Ultraschallreiniger elma clean 35

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-13,0	5,1	6,4	15,36	1,0	-1,2	0,6	1,67
SN	-14,7	7,8	2,2	16,79	2,6	-0,2	1,2	2,87
SO	-12,5	5,2	1,1	13,58	-0,1	-0,5	1,4	1,49
SO (neu)	-20,8	8,9	2,2	22,73	-1,7	0,3	2,2	2,80
TA	-17,7	7,2	-3,9	19,50	-0,6	0,3	1,9	2,01

Tab. 34: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und Ultraschallreinigung

	VOCO UL 10	Elma clean 35
KAFFEE		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja = alle verfärbt, $\Delta E > 3,3$	Ja = alle verfärbt, $\Delta E > 3,3$
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	TA, SN, SC, SO, SO (neu)	TA, SN, SC, SO, SO (neu)
Nach 3min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA entfärbt, $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA
Nach 9min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA, SO, SC	Ja, außer SN und SO (neu) SC, TA, SO
Nach 18min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Keines der VK Ursache: Steigerung ΔL u. Δb , d.h. Aufhellung und gelbliche Verfärbung	Nur SO und SC Ursache: Steigerung ΔL u. Δb , d.h. Aufhellung und gelbliche Verfärbung
Geringste Verfärbungsneigung,	TA	TA
beste Reinigung	TA SN, SO (neu)	TA und SC SN, SO (neu), TA
Aufhellung absteigend		
Einflussreichster Wert l, a, b	ΔL u. Δb	ΔL
METHYLENBLAU		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja, außer TA	Ja, außer TA
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	TA, SN, SC, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$	TA, SN, SC, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$
Nach 3min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA	Nur SN und TA

Nach 9min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA, SN, SO, SC	Nur TA und SN
Nach 18min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$;	TA, SO, SN, SC $\Delta E > 3,3$ keine Reinigung bei SO (neu), da Δb konst. negativ, ΔL nur gering gestiegen	SN, TA und SO SC $\Delta E > 3,3$ SO (neu) $\Delta E > 10$, Δb konst. negativ
Geringste Verfärbungsneigung,	TA	TA
beste Reinigung	TA	SN
Einflussreichster Wert I, a, b	ΔL	Δb , ΔL
ROTWEIN		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja, alle VK $\Delta E > 10$	Ja, alle VK $\Delta E > 10$
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	SO, SC, SN, TA, SO (neu)	SO, SC, SN, TA, SO (neu)
Nach 3min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA	Nur SN
Nach 9min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Ja, außer SO (neu) SO, SN, TA, SC, (alle VK $\Delta E \leq 3,3$ nach 12min)	Ja, außer SO (neu) SN, SC, TA, SO (alle VK $\Delta E \leq 3,3$ nach 15min)
Nach 18min in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$;	Keines der VK (Ursache: Steigerung ΔL u. Δb , d.h. Auf- hellung und gelbliche Verfärbung)	SO, SC, TA, SO (neu), SN (starke Aufhellung u. Gelbverschiebung bei SN, SC)
Geringste Verfärbungsneigung,	SO	SO
beste Reinigung	TA und SO	SN, SO
Aufhellung absteigend	SN, TA, SO, SC, SO (neu)	SN, SC
Einflussreichster Wert I, a, b	Δa verschiebt sich im Laufe der Reinigung deutlich in Richtung neutral bis grün, Δb , ΔL	Δa verschiebt sich im Laufe der Reinigung deutlich in Richtung grün

Tab. 35: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-5,8	1,5	1,9	6,28	-1,8	0,2	-2,1	2,77
SN	-3,0	1,5	2,7	4,30	0,0	0,3	0,5	0,58
SO	-1,9	0,9	-1,0	2,33	-0,3	0,2	-1,0	1,06
SO (neu)	-4,3	1,5	3,8	5,93	-0,3	-0,3	3,0	3,03
TA	-2,5	0,7	0,7	2,69	0,4	0,0	0,6	0,72

Tab. 36: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,6	-2,4	-7,8	9,37	-1,3	-1,5	-3,7	4,20
SN	-4,5	-1,5	-5,4	7,19	-1,5	-1,0	-1,5	2,35
SO	-6,3	-3,5	-10,4	12,65	-3,3	-2,2	-6,4	7,53
SO (neu)	-14,7	-3,8	-18,9	24,24	-10,2	-3,2	-15,1	18,50
TA	-4,0	-2,5	-4,1	6,25	-1,9	-1,7	-1,8	3,12

Tab. 37: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren A

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-15,6	5,4	3,4	16,85	-0,9	0,0	-0,4	0,98
SN	-17,5	9,0	0,7	19,69	-0,1	0,8	-0,6	1,00
SO	-14,9	5,6	-2,0	16,04	-2,2	1,0	-1,4	2,79
SO (neu)	-21,9	9,3	0,5	23,80	-1,8	1,2	0,0	2,16
TA	-11,8	3,4	-3,3	12,72	-0,4	0,0	0,1	0,41

Tab. 38: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-9,3	4,1	7,2	12,46	-2,3	0,9	2,2	3,31
SN	-3,4	1,3	4,6	5,87	0,0	-0,5	3,5	3,54
SO	-4,4	1,2	-1,0	4,67	-1,1	0,0	-1,6	1,94
SO (neu)	-4,2	1,8	2,8	5,36	-0,2	0,3	1,5	1,54
TA	-5,0	2,2	1,5	5,66	-0,1	-0,2	0,6	0,64

Tab. 39: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,4	-2,3	-7,5	8,99	0,1	-1,7	-2,4	2,94
SN	-6,3	-1,8	-8,2	10,50	-0,5	-0,8	0,0	0,94
SO	-7,7	-2,7	-11,6	14,18	-3,6	-1,7	-6,6	7,71
SO (neu)	-15,4	-3,3	-19,0	24,68	-13,0	-3,8	-17,1	21,81
TA	-4,8	-2,9	-6,1	8,29	-1,1	-1,5	-1,4	2,33

Tab. 40: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Nadelstrahlverfahren B

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-15,1	6,1	2,7	16,51	-2,7	1,3	0,7	3,08
SN	-21,8	10,2	0,5	24,12	0,3	0,5	0,2	0,62
SO	-20,9	9,1	-2,6	22,94	-2,4	0,9	-2,0	3,25
SO (neu)	-15,3	6,3	0,5	16,55	0,0	0,4	0,0	0,40
TA	-18,5	5,9	-4,3	19,89	0,5	0,2	1,5	1,59

Tab. 41: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und Nadelstrahlreinigung

	Verfahren A	Verfahren B
KAFFEE		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja, außer SO u. TA alle verfärbt, $\Delta E > 3,3$	Ja = alle verfärbt, $\Delta E > 3,3$
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	SO, TA, SN, SO (neu), SC	SO, SO (neu), TA, SN, SC
Nach Reinigung $\Delta E \leq 3,3$;	Ja = entfärbt, $\Delta E \leq 3,3$	Ja, außer SN (leicht gelb)
Rangfolge VK aufsteigend	SN, TA, SO, SC, SO (neu)	TA, SO (neu), SO, SC
Geringste Verfärbungsneigung,	SO	SO
beste Reinigung	SN	TA
Aufhellung absteigend	Nein	Nein
Einflussreichster Wert l, a, b	ΔL , Δa , Δb	ΔL , Δa , Δb
METHYLENBLAU		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja	Ja
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	TA, SN, SC, SO, SO (neu)	TA, SC, SN, SO, SO (neu)
Nach Reinigung $\Delta E \leq 3,3$;	Nur SN u. TA	Ja, außer SO u. SO (neu)
Rangfolge VK aufsteigend		SN, TA, SC
Geringste Verfärbungsneigung,	TA	TA
beste Reinigung	SN	SN
Aufhellung absteigend	Nein	Nein
Einflussreichster Wert l, a, b	ΔL und Δb	ΔL und Δb
ROTWEIN		
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$;	Ja $\Delta E > 10$	Ja $\Delta E > 10$
Rangfolge VK aufsteigend ΔE	TA, SO, SC, SN, SO (neu)	SC, SO (neu), TA, SO, SN
Nach Reinigung $\Delta E \leq 3,3$;	Ja	Ja
Rangfolge VK aufsteigend	TA, SC, SN, SO (neu), SO	SO (neu), SN, TA, SC, SO

Geringste Verfärbungsneigung,	TA	SC
beste Reinigung	TA	SO (neu)
Aufhellung absteigend	Nein	Nein
Einflussreichster Wert I, a, b	ΔL und Δa	ΔL und Δa

Tab. 42: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,3	1,3	2,6	5,19	-2,2	-0,3	-1,5	2,68
SN	-3,8	2,4	4,1	6,08	-0,5	0,5	0,7	0,99
SO	-4,5	2,2	1,0	5,11	-0,6	0,0	-2,9	2,96
SO (neu)	-3,9	1,5	3,8	5,65	-0,7	0,1	0,0	0,71
TA	-2,0	1,6	2,4	3,51	0,0	-0,3	-0,3	0,42

Tab. 43: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,8	-1,5	-8,5	10,99	-2,3	-2,6	-4,2	5,45
SN	-6,0	-1,2	-7,4	9,60	-1,6	-0,6	-1,0	1,98
SO	-8,4	-3,9	-12,8	15,80	-3,8	-2,9	-7,1	8,56
SO (neu)	-14,4	-2,3	-15,9	21,57	-7,9	-4,4	-9,4	13,04
TA	-4,1	-1,5	-4,9	6,56	0,0	-1,0	-0,8	1,28

Tab. 44: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-18,3	7,0	3,4	19,89	-0,5	0,0	-1,5	1,59
SN	-16,6	8,4	0,5	18,61	0,6	0,6	-0,5	0,98
SO	-11,9	5,0	-1,4	12,98	-0,8	0,2	-1,5	1,71
SO (neu)	-22,6	9,4	0,6	24,48	-0,5	0,2	-0,2	0,57
TA	-16,3	7,3	-3,8	18,26	0,0	-0,2	1,1	1,12

Tab. 45: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,4	2,9	3,7	8,77	-0,4	0,0	-1,4	1,46
SN	-4,5	2,2	3,9	6,35	0,0	0,3	1,6	1,63
SO	-5,9	2,2	0,6	6,33	-0,9	0,0	-2,0	2,19
SO (neu)	-4,2	2,3	2,6	5,45	1,7	0,2	-0,5	1,78
TA	-3,5	0,5	-0,8	3,62	-0,2	-0,3	0,1	0,37

Tab. 46: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,6	-1,7	-7,3	10,67	-2,3	-2,3	-3,0	4,28
SN	-5,5	-2,0	-6,4	8,67	-2,3	-1,3	-2,2	3,44
SO	-8,4	-4,1	-13,2	16,20	-4,4	-3,4	-7,2	9,10
SO (neu)	-15,5	-2,4	-17,6	23,57	-11,2	-4,4	-13,4	18,01
TA	-3,8	-2,7	-4,9	6,76	-0,8	-1,5	-0,9	1,92

Tab. 47: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Corega tabs dental weiß

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-17,8	7,2	1,7	19,28	-0,8	0,0	-2,0	2,15
SN	-16,3	7,6	-1,0	18,01	-0,5	0,3	0,4	0,71
SO	-15,2	6,0	-2,5	16,53	-0,5	0,0	-1,9	1,96
SO (neu)	-24,1	8,9	0,1	25,69	0,0	0,3	0,4	0,50
TA	-18,0	6,8	-4,9	19,86	-0,1	0,0	1,5	1,50

Tab. 48: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-5,6	1,4	2,4	6,25	-0,4	0,0	-2,4	2,43
SN	-2,0	1,3	2,1	3,18	0,8	0,6	1,1	1,49
SO	-5,0	1,9	0,9	5,42	-0,4	0,0	-1,0	1,08
SO (neu)	-4,8	1,5	2,9	5,81	0,2	0,0	0,9	0,92
TA	-6,0	1,2	-0,5	6,14	0,5	-0,2	-0,6	0,81

Tab. 49: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-5,3	-1,3	-6,3	8,33	-1,3	-1,0	-2,1	2,66
SN	-7,3	-1,2	-9,1	11,73	-1,8	-0,8	-2,9	3,51
SO	-0,8	-1,1	-10,4	13,17	-2,0	-1,3	-4,4	5,01
SO (neu)	-8,4	-1,0	-7,9	11,57	-3,2	-1,8	-4,0	5,43
TA	-5,1	-2,2	-5,5	7,82	-1,2	-1,5	-0,5	1,98

Tab. 50: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Protefix

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-18,8	7,2	3,9	20,51	-0,8	0,0	0,0	0,80
SN	-21,6	10,6	0,7	24,07	0,8	0,6	-0,3	1,04
SO	-14,4	4,9	-3,0	15,50	-1,1	0,1	-2,1	2,37
SO (neu)	-23,6	9,8	0,3	25,52	0,2	0,3	-0,5	0,62
TA	-12,1	4,3	-3,6	13,34	0,1	0,0	1,1	1,10

Tab. 51: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,1	1,6	2,7	7,76	-1,3	-0,5	-0,8	1,61
SN	-4,5	1,6	1,7	5,07	0,3	0,3	0,7	0,82
SO	-0,6	2,4	-0,1	6,46	0,5	0,3	-1,1	1,24
SO (neu)	-5,3	1,2	2,4	5,94	0,0	0,0	1,5	1,50
TA	-7,3	2,1	-0,4	7,61	0,5	-0,2	1,1	1,22

Tab. 52: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,1	-2,0	-7,4	9,80	-0,5	-1,3	-2,5	2,86
SN	-8,5	-1,7	-9,0	12,50	-1,8	-1,0	-1,8	2,73
SO	-9,9	-3,0	-15,4	18,55	-3,0	-2,9	-7,4	8,50
SO (neu)	-12,2	-1,8	-13,4	18,21	-6,7	-3,1	-9,6	12,11
TA	-5,8	-2,5	-7,0	9,43	-0,6	-1,3	-0,8	1,64

Tab. 53: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Blend-a-dent

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-15,4	4,6	0,9	16,10	-0,8	-0,3	-1,0	1,32
SN	-25,3	10,8	-0,3	27,51	0,9	0,6	-0,5	1,19
SO	-18,2	7,0	-2,6	19,67	-0,6	0,0	-1,6	1,71
SO (neu)	-18,9	7,4	-0,4	20,30	0,5	0,3	-0,7	0,91
TA	-14,1	5,1	-4,0	15,52	0,6	-0,5	1,1	1,35

Tab. 54: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,6	1,6	1,4	7,89	-1,0	-0,3	-0,5	1,16
SN	-5,0	1,3	0,5	5,19	0,0	0,5	-0,8	0,94
SO	-6,4	2,0	-0,5	6,72	0,4	0,2	-0,5	0,67
SO (neu)	-5,5	1,5	0,0	5,70	0,2	0,0	0,4	0,45
TA	-6,8	2,3	0,0	7,18	1,0	-0,2	0,4	1,10

Tab. 55: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-8,1	-1,5	-7,2	10,94	-2,0	-3,3	-4,2	5,70
SN	-8,0	-0,8	-9,4	12,37	-0,8	-0,6	-1,8	2,06
SO	-9,5	-3,2	-13,4	16,73	-2,0	-2,4	-5,1	5,98
SO (neu)	-9,9	-1,2	-10,6	14,55	-2,9	-2,4	-4,9	6,18
TA	-4,3	-2,0	-5,3	7,11	0,0	-1,0	0,1	1,00

Tab. 56: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident aktiv 3

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-20,8	7,7	3,4	22,44	-1,3	0,0	-1,4	1,91
SN	-20,5	9,0	-0,6	22,40	2,3	0,6	0,0	2,38
SO	20,4	7,1	-3,0	21,81	0,7	0,2	-0,2	0,75
SO (neu)	-22,4	8,6	-0,4	24,00	0,3	0,3	-0,5	0,66
TA	-0,2	-0,2	0,1	0,30	0,5	-0,2	0,9	1,05

Tab. 57: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,9	1,3	0,4	7,03	-0,7	-0,3	-1,5	1,68
SN	-6,3	1,5	2,0	6,78	0,0	-0,1	2,5	2,50
SO	-5,5	1,6	-2,1	6,10	0,1	0,1	-1,2	1,21
SO (neu)	-6,4	1,8	-0,9	6,71	0,1	0,3	-0,5	0,59
TA	-2,4	0,0	-1,9	3,06	1,1	-0,3	-0,5	1,24

Tab. 58: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,3	-2,3	-8,5	11,44	-1,8	-2,8	-4,7	5,76
SN	-8,3	-1,3	-7,7	11,40	-1,6	-0,5	-0,2	1,69
SO	-10,4	-2,0	-13,2	16,92	-2,9	-2,2	-6,1	7,10
SO (neu)	-11,2	-0,7	-9,1	14,45	-5,5	-1,8	-6,9	9,01
TA	-5,3	-2,0	-6,0	8,25	-0,7	-1,3	-1,9	2,41

Tab. 59: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels Prothesenreinigungstablettenlösung Kukident intensiv

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-19,1	6,7	1,9	20,33	-0,8	0,0	-1,1	1,36
SN	-22,5	10,1	0,0	24,66	-0,5	0,8	0,4	1,02
SO	-17,2	5,5	-4,6	18,63	-0,9	0,3	-1,9	2,12
SO (neu)	-24,9	9,6	0,0	26,69	0,2	0,2	-0,4	0,49
TA	-18,0	6,3	-4,9	19,69	0,3	-0,2	0,9	0,97

Tab. 60: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und Reinigung mit Tablettenreinigungslösungen

	Corega tabs	Corega tabs dental Weiß	Protefix	blend-a-dent	Kukident aktiv 3	Kukident intensiv
KAFFEE						
nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja = deutlich verfärbt TA, SO, SC, SO (neu), SN	Ja TA, SO (neu), SO, SN, SC	Ja außer SN SN, SO, SO (neu), TA, SC	Ja SN, SO (neu), SO, TA, SC	Ja SN, SO (neu), SO, TA, SC	Ja außer TA TA, SO, SO (neu), SN, SC

Nach 1d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$ Rangfolge aufsteigend	Ja = entfärbt TA, SO (neu), SN, SC, SO	Ja TA, SC, SO, SN, SO (neu)	Ja TA, SN, SO, SO (neu), SC	Ja SN, TA, SO, SO (neu), SC	Ja TA, SO (neu), SO, SN, SC	Ja TA, SO (neu), SO, SN, SC
Nach 4d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Nach 10d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Ja Werte u. Rangfolge wie 1d	Ja TA, SC, SN, SO (neu), SO	Ja TA, SO (neu), SO, SN, SC	Ja SN, TA, SO, SO (neu), SC	Ja SO (neu), SO, SN, TA, SC	Ja SO (neu), SO, TA, SC, SN
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	TA	TA	SN TA	SN	SN SO (neu)	TA SO (neu)
Einflussreichster Wert I, a, b	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller, (SN, TA, SO (neu) gelber)	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller (SN deutlich gelber)
METHYLENBLAU						
nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja (SC, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$) TA, SN, SC, SO, SO (neu-i)	Ja (SC, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$) TA, SN, SC, SO, SO (neu-i)	Ja (SN, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$) TA, SC, SO (neu-i), SN, SO	Ja (SN, SO, SO (neu) $\Delta E > 10$) TA, SC, SN, SO (neu-i), SO	Ja (außer TA alle $\Delta E > 10$) TA, SC, SN, SO (neu-i), SO	Ja (außer TA alle $\Delta E > 10$) TA, SN, SC, SO (neu-i), SO
Nach 1d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$ Rangfolge VK aufsteigend	Nur TA und SN TA, SN, SC, SO, SO (neu-i)	Nein TA, SN, SC, SO, SO (neu-i)	Nein TA, SC, SN, SO, SO (neu)	Nein SN, TA, SC, SO, SO (neu-i)	Nur TA TA, SN, SC, SO (neu-i), SO	Nein SN, TA, SC, SO (neu-i), SO
Nach 4d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Nur TA u. SN	Nur TA	Nur TA u. SN	Nein	Nur TA u. SN	Nur SN u. TA
Nach 10d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Nur TA u. SN $\downarrow \Delta E$ tendenziell Rangfolge siehe 1d-Werte	Nur TA $\downarrow \Delta E$ tendenziell Rangfolge siehe 1d-Werte	TA, SC u. SN $\downarrow \Delta E$ tendenziell TA, SC, SN, SO, SO (neu)	TA, SN u. SC $\downarrow \Delta E$ tendenziell TA, SN, SC, SO, SO (neu)	Nur TA u. SN $\downarrow \Delta E$ tendenziell TA, SN, SC, SO, SO (neu)	Nur SN u. TA $\downarrow \Delta E$ tendenziell SN, TA, SC, SO, SO (neu)
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	TA	TA	TA (SC deutlich besser als bisher)	TA	TA	TA SN
Einflussreichster Wert I, a, b	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau	ΔL , d.h. heller Δb , d.h. \downarrow blau
ROTWEIN						
nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja (alle VK $\Delta E > 10$) SO, TA, SN, SC, SO (neu)	Ja (alle VK $\Delta E > 10$) SO, SN, SC, TA, SO (neu)	Ja (alle VK $\Delta E > 10$) TA, SO, SC, SN, SO (neu)	Ja (alle VK $\Delta E > 10$) TA, SC, SO, SO (neu), SN	Ja außer TA ($\Delta E = 0,3$) alle verfärbt mit $\Delta E > 10$ TA, SO, SN, SC, SO (neu)	Ja (alle VK $\Delta E > 10$) SO, TA, SC, SN, SO (neu)

Nach 1d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Rangfolge VK aufsteigend	TA, SN, SO (neu), SC & SO	SO (neu), TA, SN, SC, SO	TA, SN, SO (neu), SC, SO	TA, SO (neu), SN, SC; SO	TA, SO (neu), SO, SN, SC	SC, TA, SO, SO (neu), SN
Nach 4d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Nach 10d in Lsg. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	SO (neu), SN, TA, SC, SO	SO (neu), SN, TA, SO, SC	SO (neu), SC, SN, TA, SO	SO (neu), SN, SC, TA, SO	SO (neu), SO, TA, SC; SN	SO (neu), TA, SN, SC; SO
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	SO, SO (neu)	SO SO (neu)	TA SO (neu)	TA SO (neu)	TA SO (neu)	TA SO (neu)
Einflussreichster Wert l, a, b	L und b (heller, gelber)	L und b (heller, gelber)	L und b (heller, gelber)	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller	ΔL , d.h. heller

Tab. 61: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	0,9	-1,0	1,6	2,09	1,6	-1,5	1,6	2,71
SN	0,6	-0,4	2,2	2,32	2,1	-0,9	2,6	3,46
SO	0,0	-2,2	3,7	3,71	0,0	-0,6	2,0	2,09
SO (neu)	3,7	0,4	6,9	7,84	3,6	-0,5	5,7	6,76
TA	-0,4	0,1	5,1	5,12	-0,4	-0,4	3,9	3,94

Tab. 62: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-15,0	-6,3	-12,4	20,46	-7,5	-5,3	-6,6	11,31
SN	-13,7	-4,9	-13,0	19,51	-0,7	-1,4	0,3	1,59
SO	-16,5	-3,6	-16,1	23,33	-9,5	-1,5	-10,2	14,02
SO (neu)	-17,0	-3,2	-11,5	20,77	-5,8	-2,3	-4,7	7,81
TA	-21,9	-9,2	-21,9	32,31	-8,2	-5,6	-10,0	14,09

Tab. 63: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,1	1,3	1,6	7,11	1,1	-1,3	1,0	1,97
SN	-3,7	0,8	0,2	3,79	2,1	-0,7	1,7	2,79
SO	-3,4	0,4	-0,4	3,45	1,3	-0,6	0,6	1,55
SO (neu)	-4,3	2,7	4,0	6,46	4,7	-0,5	5,1	6,95
TA	-10,7	3,1	-2,4	11,40	0,5	0,0	2,9	2,94

Tab. 64: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,0	-0,3	1,6	2,58	2,0	-1,0	-0,5	2,29
SN	-1,1	0,2	4,2	4,35	3,6	-0,4	2,0	4,14
SO	-4,1	1,4	3,0	5,27	2,0	-0,2	2,0	2,84
SO (neu)	-1,3	-0,2	2,4	2,74	2,2	-0,2	1,7	2,79
TA	-3,2	1,7	2,2	4,24	2,0	0,0	2,6	3,28

Tab. 65: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,1	-3,0	-4,4	6,72	2,8	-1,5	0,0	3,10
SN	-5,0	-1,5	-5,4	7,51	1,3	-0,3	0,6	1,46
SO	-3,6	-3,1	-4,8	6,75	2,0	-0,7	1,2	2,44
SO (neu)	-8,8	-2,6	-8,9	12,78	1,3	-0,6	-1,0	1,75
TA	-7,9	-6,6	-11,8	15,66	0,6	-1,7	-0,9	2,01

Tab. 66: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Colgate dental white

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-19,0	6,8	7,2	21,43	1,6	-1,0	0,6	1,98
SN	-24,9	11,1	1,0	27,28	2,5	-0,4	0,9	2,69
SO	-9,3	3,4	0,1	9,90	1,6	-0,6	1,1	2,03
SO (neu)	-15,8	6,8	2,5	17,38	1,5	0,2	2,5	2,92
TA	-17,7	6,9	-3,3	19,28	1,9	-0,4	2,1	2,86

Tab. 67: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,8	1,9	8,9	10,29	1,3	-0,5	1,7	2,20
SN	-0,4	1,3	5,0	5,18	3,6	-0,2	2,4	4,33
SO	-2,0	0,6	2,4	3,18	0,8	-0,3	0,2	0,88
SO (neu)	-1,5	0,9	5,1	5,39	2,2	-0,3	3,4	4,06
TA	0,2	-0,2	0,4	0,49	1,6	0,1	2,0	2,56

Tab. 68: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-4,3	-3,4	-3,4	6,25	1,9	-1,5	-0,4	2,45
SN	-4,0	-1,8	-5,7	7,19	1,0	-0,6	0,2	1,18
SO	-2,7	-1,8	-3,1	4,49	1,3	-0,6	0,6	1,55
SO (neu)	-17,1	-3,9	-19,9	26,53	-2,8	-0,6	-4,4	5,25
TA	-1,9	-2,4	-3,4	4,57	1,6	0,0	2,1	2,64

Tab. 69: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Corega 1 Minute

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-16,5	5,7	5,7	18,36	1,3	-0,9	-0,9	1,82
SN	-14,9	7,3	2,0	16,71	3,4	0,0	1,0	3,54
SO	-22,6	7,5	-0,5	23,82	1,5	-0,6	1,1	1,95
SO (neu)	-14,1	5,9	1,1	15,32	1,6	0,0	1,6	2,26
TA	-17,9	6,1	-3,0	19,15	-1,4	1,2	1,4	2,32

Tab. 70: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,3	2,2	6,4	9,25	2,4	-0,8	-1,0	2,72
SN	-3,4	2,0	4,5	5,98	3,7	-0,4	1,9	4,18
SO	-4,5	1,0	3,0	5,50	0,3	0,4	1,4	1,49
SO (neu)	-5,8	2,7	3,9	7,49	1,6	0,3	3,1	3,50
TA	-3,4	1,1	0,0	3,57	1,1	-0,4	1,4	1,82

Tab. 71: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-5,1	-2,8	-4,3	7,23	2,5	-1,3	0,4	2,85
SN	-5,0	-1,5	-4,7	7,02	0,8	-0,1	0,2	0,83
SO	-4,9	-1,8	-4,5	6,89	1,4	-0,5	0,5	1,57
SO (neu)	-19,1	-3,8	-19,9	27,84	-2,0	-1,1	-3,1	3,85
TA	-2,7	-3,4	-3,9	5,84	1,6	0,0	1,7	2,33

Tab. 72: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Blend-a-dent Hygienic

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-8,1	2,2	0,6	8,41	1,8	-0,6	-0,9	2,10
SN	-13,5	6,8	0,9	15,14	4,1	-0,1	0,5	4,13
SO	-16,8	6,5	-0,4	18,02	1,5	-0,9	0,9	1,97
SO (neu)	-19,8	8,4	1,7	21,58	2,7	0,0	1,6	3,14
TA	-15,9	6,2	-3,3	17,38	1,1	0,3	1,7	2,05

Tab. 73: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-7,1	0,7	12,6	14,48	0,1	-0,5	10,2	10,21
SN	-2,4	1,3	3,4	4,36	4,1	-0,3	1,7	4,45
SO	-3,4	0,4	0,0	3,42	1,4	-0,2	0,9	1,68
SO (neu)	-5,8	1,8	4,5	7,56	1,7	0,1	3,6	3,98
TA	-1,9	0,1	0,6	1,99	2,1	-0,5	1,6	2,69

Tab. 74: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-6,3	-2,5	-6,0	9,05	2,6	-1,3	-1,4	3,23
SN	-5,2	-1,8	-5,9	8,07	1,5	-0,2	0,8	1,71
SO	-7,8	-1,8	-8,0	11,32	1,4	-0,6	0,5	1,60
SO (neu)	-17,8	-2,6	-17,6	25,17	-2,5	-1,1	-4,5	5,26
TA	-8,9	-7,3	-12,8	17,21	-0,5	-2,4	-2,1	3,23

Tab. 75: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und blend-a-med Kariosan

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-13,3	5,2	5,4	15,27	2,3	-1,2	0,1	2,60
SN	-14,9	7,8	1,9	16,93	3,0	-0,8	0,9	3,23
SO	-16,0	5,7	0,6	17,00	1,0	-0,6	0,7	1,36
SO (neu)	-14,6	6,8	2,4	16,28	2,2	-0,2	2,1	3,05
TA	-16,4	6,9	-3,9	18,21	-0,3	0,7	0,0	0,76

Tab. 76: ΔE -Werte nach Lagerung in Kaffee und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-2,0	-0,5	4,6	5,04	1,5	-1,0	-0,4	1,85
SN	-0,5	1,2	6,5	6,63	3,7	-0,5	1,7	4,10
SO	-2,7	1,1	4,1	5,03	2,0	-0,6	0,6	2,17
SO (neu)	-1,3	1,3	5,1	5,42	2,2	0,2	1,4	2,62
TA	-0,9	1,0	4,1	4,32	2,1	0,0	2,4	3,19

Tab. 77: ΔE -Werte nach Lagerung in Methylenblau und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-1,8	-3,0	-1,9	3,98	4,0	-1,0	0,6	4,17
SN	-0,2	-1,1	-0,8	1,37	2,4	0,4	1,7	2,97
SO	-4,4	-3,8	-6,1	8,43	3,0	-0,3	1,5	3,37
SO (neu)	-13,8	-3,9	-15,6	21,19	0,0	-0,6	-1,9	1,99
TA	-0,4	-2,8	-1,9	3,41	2,6	-0,2	0,7	2,70

Tab. 78: ΔE -Werte nach Lagerung in Rotwein und nach Reinigung mittels elektrischer Zahnbürste und Sidol

Code	Nach 4 Wochen Farblösung				Nach Reinigung			
	ΔL	Δa	Δb	ΔE	ΔL	Δa	Δb	ΔE
SC	-10,1	4,1	4,6	11,83	3,3	-1,0	-0,4	3,47
SN	-13,0	7,2	2,4	15,05	3,6	-0,4	1,0	3,76
SO	-12,0	4,8	0,7	12,94	1,0	-0,1	1,1	1,49
SO (neu)	-13,6	6,8	3,6	15,63	2,7	0,4	2,6	3,77
TA	-16,2	6,6	-2,8	17,72	1,9	-0,4	1,5	2,45

Tab. 79: Auswertung ΔE -Werte nach Lagerung in färbenden Medien und mechanischer Reinigung – elektrische Zahnbürste und Reiniger

	Elektrische Zahnbürste (EZ)	EZ mit Sidol	EZ mit Corega 1 min	EZ mit Blend-a-dent Hygienic	EZ mit Colgate sensation white	EZ mit blend-a-med (Kario-san)
KAFFEE						
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja, außer SC u. SN alle verfärbt SC, SN, SO, TA, SO (neu)	Ja TA, SO, SC, SO (neu), SN	Ja, außer TA u. SO TA, SO, SN, SO (neu), SC	Ja TA, SO, SN, SO (neu), SC	Ja, außer SC SC, SO (neu), TA, SN, SO	Ja, außer TA TA, SO, SN, SO (neu), SC
ΔE nach Beschleifen der Seitenränder	Außer SO (neu) $\Delta E < 3,3$	Nur SO u. TA $\Delta E < 3,3$	Außer TA u. SO $\Delta E > 3,3$	Außer TA $\Delta E > 3,3$	Außer SC $\Delta E > 3,3$	Nur SO u. TA $\Delta E < 3,3$
Nach 2min. $\Delta E \leq 3,3$	Nein (heller)	Außer SO (neu)	Nur TA u. SO	Außer SN und SO (neu)(noch verfärbt!)	Nur SO (SC heller, übrige VK gelber)	Nur SO u. TA (b- Werte zu hoch (gelber) bei übrigen VK)
Nach 6min. $\Delta E \leq 3,3$	Nur SC u. SO	Ja	Nur TA u. SO	Außer SN und SO (neu)(noch verfärbt!),	Außer TA und SN (heller und gelber)	Ja außer SC
Nach 10min. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Nur SC u. SO (SN, TA, SO (neu) verfärbt)	Ja, außer SN (heller) SC, SO, SO (neu), TA	Nur TA, SO und SC TA, SC, SO, (SN u. SO (neu) gelber)	Ja, außer SN und SO (neu)(noch verfärbt!) SO, TA, SC,	Ja, außer SN SC, SO (neu), SO, TA	Nur SO u. TA (SC verfärbt - gelb, SN u. SO (neu) heller) SO, TA,
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	SC SO und SC	TA u. SO SO u. SC	TA SO	TA SO	SC SC und SO	TA SO
Aufhellung absteigend	Nein	SN	Nein	Nein	SN	SN u. SO (neu)
Einflussreichster Wert I, a, b	Δb	ΔL und Δb	ΔL und Δb	ΔL	ΔL und Δb	Δb und ΔL
METHYLENBLAU						
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja $\Delta E > 10$ SN, SC, SO (neu), SO, TA	Ja, außer SN SN, TA, SC, SO, SO (neu)	Ja SO, TA, SC, SN, SO (neu)	Ja $\Delta E > 10$ bei SO (neu) TA, SO, SN, SC, SO (neu)	Ja $\Delta E > 10$ bei So (neu) u. TA SC, SO, SN, SO (neu), TA	Ja $\Delta E > 10$ bei SO, TA, SO (neu) SN, SC, SO, TA, SO (neu)
ΔE nach Beschleifen der Seitenränder	$\Delta E > 10$	SO, SN u. TA $\Delta E < 3,3$; SC u. SO (neu) verfärbt	SO, SN u. TA $\Delta E < 3,3$	$\Delta E < 3,3$ bei SN, SC	Nur SO (neu) u. TA $\Delta E > 3,3$	Nur SN u. SC $\Delta E < 3,3$

Nach 2min. $\Delta E \leq 3,3$	Nur SN	Ja	Nur SO, SN, TA	SO, TA, SN (SC heller, gelber, SO (neu) verfärbt)	Ja, außer TA	Nur SN, SC, SO (TA u. SO (neu) noch verfärbt)
Nach 6min. $\Delta E \leq 3,3$	Nur SN	Ja	Ja, außer SC u. SO (neu)	Ja, außer SO (neu)	Ja	Nur SN, SO, SC
Nach 10min. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Nur SN	Ja, außer SC (heller) SO (neu), TA, SN, SO	Ja, außer SO (neu) (verfärbt) SN, SO, TA, SC	Ja, außer SO (neu)	Ja SN, SO (neu), SO, TA, SC	Ja, außer SO (neu)
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	SN	SN	SO	TA und SN	SC u. SN	SN
Aufhellung absteigend	Nein	SC	Nein	Nein	Nein	Nein
Einflussreichster Wert I, a, b	Δb und ΔL	ΔL und Δb	ΔL und Δb	Δb	Δb und ΔL	Δb
ROTWEIN						
Nach 4 Wochen Färbelösung $\Delta E > 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend ΔE	Ja SO, SN, SO (neu), SC, TA	Ja $\Delta E > 10$ SC, SO, SN, SO (neu), TA	Ja $\Delta E > 10$ SO (neu), SN, SC, TA, SO	Ja SC, SN, TA, SO, SO (neu)	Ja SO, SO (neu), TA, SC, SN	Ja $\Delta E > 10$ SC, SO (neu), SN, SO, TA
ΔE nach Beschleifen der Seitenränder	Außer SN $\Delta E \geq 3,3$	Alle VK $\Delta E \geq 3,3$	Alle VK $\Delta E > 3,3$	Alle VK $\Delta E \geq 3,3$	Alle VK $\Delta E \geq 3,3$	Alle VK $\Delta E > 10$
Nach 2min. $\Delta E \leq 3,3$	Ja, außer SO (neu)	Ja	Ja	Nur SC u. TA Ursache: übrige VK heller aber gelber	Ja	Ja
Nach 6min. $\Delta E \leq 3,3$	Ja, außer SO (neu)	Ja	Ja	Ja, außer SN (heller) u. SO (neu) (gelber)	Ja	Ja
Nach 10min. $\Delta E \leq 3,3$; Rangfolge VK aufsteigend	Ja, außer SO (neu) SO, SC, SN, TA	Ja, außer SO (neu) SO, TA, SC, SN, SO	Ja, außer SN (heller) SC, SO, SO (neu), TA	Ja, außer SN (heller) SO, TA, SC, SO (neu)	Ja SC, SO, SN, TA, SO (neu)	Ja TA, SO, SC, SO (neu), SN
Geringste Verfärbungsneigung, beste Reinigung	SN SO	SC SO	SO (neu) SC u. SO	SC SO	SO SC und SO	SO u. SC TA
Aufhellung absteigend	SO (neu)	SO (neu) u. SN	SN	SN	Nein	Nein
Einflussreichster Wert I, a, b	ΔL und Δb	ΔL und Δb	ΔL , Δb , Δa	ΔL und Δb	ΔL und Δb	ΔL

Signifikanzprüfung

Signifikante Unterschiede bei $p = 0,01$ wurden mit * gekennzeichnet.

Tab. 80: Biegefestigkeit 1 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC	*		*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*		*		*	x		
SO	*	*	*	*		*	x	
TA		*	*	*	*	*		x

Tab. 81: Biegefestigkeit 25000 TLW

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES		x						
GR			x					
SC	*			x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*		*		*	x		
SO	*	*	*	*	*	*	x	
TA	*	*	*	*		*	*	x

Tab. 82: Biegefestigkeit 90 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES		x						
GR		*	x					
SC			*	x				
SG	*	*		*	x			
SN					*	x		
SO	*	*	*	*	*	*	x	
TA							*	x

Tab. 83: Elastizitätsmodul 1 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR	*	*	x					
SC	*	*	*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*		*	*		x	
TA		*		*	*	*	*	x

Tab. 84: Elastizitätsmodul 25000 TLW

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC	*		*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*	*	*			x	
TA		*		*	*	*	*	x

Tab. 85: Elastizitätsmodul 90 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR	*	*	x					
SC	*	*	*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*		*	*	*	x	
TA		*	*	*	*	*	*	x

Tab. 86: Druckfestigkeit 1 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC	*	*		x				
SG		*			x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*	*			*	x	
TA		*				*	*	x

Tab. 87: Druckfestigkeit 25000 TLW

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC		*	*	x				
SG	*	*	*		x			
SN	*	*	*	*		x		
SO		*		*	*	*	x	
TA		*					*	x

Tab. 88: Druckfestigkeit 90 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR			x					
SC				x				
SG					x			
SN						x		
SO	-	-	-	-	-	-	x	
TA		*	*					x

Tab. 89: Vickers Härte HV₅₋₂₀ 1 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR	*	*	x					
SC	*	*	*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*		*	*	*	x	
TA	*	*	*	*	*	*	*	x

Tab. 90: Vickers Härte HV₅₋₂₀ 25000 TLW

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR	*	*	x					
SC	*	*	*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*	*	*	*	*	x	
TA	*	*	*	*	*	*	*	x

Tab. 91: Vickers Härte HV₅₋₂₀ 90 d H₂O

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR	*	*	x					
SC	*	*	*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*	*	*	*	*	x	
TA	*	*	*	*	*	*	*	x

**Tab. 92: Scherhaftfestigkeit SC
unterschiedliche organ. Verbund-
systeme**

	a	b	c	d	e	f	g
a	x						
b	*	x					
c	*		x				
d				x			
e	*	*	*	*	x		
f	*				*	x	
g	*	*	*	*	*	*	x
x	x	x	x	x	x	x	x

**Tab. 93: Scherhaftfestigkeit SC
Verbundsystem: Rocatec - Gradia
Opaker**

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC	*		*	x				
SG	*	*	*	*	x			
SN		*		*	*	x		
SO	*	*	*	*		*	x	
TA		*		*	*		*	x

Tab. 94: Reparaturfestigkeit SC und ES unterschiedliche Bondingsysteme und Verblendkomposite, 1 d H₂O

	A	B	C	D	E	F	G
A	x						
B	*	x					
C	*	*	x				
D	*	*		x			
E	*		*	*	x		
F	*		*	*		x	
G	*	*			*	*	x

Tab. 95: Reparaturfestigkeit SC und ES Dentacolor Bonding - SN, 25000 TLW

				D			
	x						
		x					
			x				
				x			
					x		
						x	
							x
G				*			x

Tab. 96: Polymerisationsschrumpfung

	AG	ES	GR	SC	SG	SN	SO	TA
AG	x							
ES	*	x						
GR		*	x					
SC		*		x				
SG	*	*	*		x			
SN	*	*	*	*	*	x		
SO	*	*	*	*		*	x	
TA	*	*				*	*	x

Tab. 97: R_a auf SC nach Benutzung verschiedener Ausarbeitungsinstrumente

	Folie	HMF	W12	W32	W12/32	grüDia	ro Dia	gel Dia	wei Dia
Folie	x								
HMF	*	x							
W12	*	*	x						
W32	*	*		x					
W12/32	*	*			x				
grü Dia	*	*	*	*	*	x			
ro Dia	*	*	*	*	*	*	x		
gel Dia	*	*	*	*	*	*	*	x	
wei Dia	*	*	*	*	*	*	*	*	x

Tab. 98: R_a auf SC nach HMF und unterschiedlichen Poliersystemen

	PSe	BR	KP	SS	DG	PT	CM
PS	x						
BR	*	x					
KP	*	*	x				
SS	*		*	x			
DG	*	*	*	*	x		
PT	*	*	*	*	*	x	
CM	*	*	*			*	x

Tab. 99: R_a auf SC nach W12 und unterschiedlichen Poliersystemen

	BR	SS	KP	PT	W12
BR	X				
SS	*	X			
KP	*	*	X		
PT	*	*	*	X	
W12	-	-	*		X

Tab. 100: R_a auf ES nach Benutzung verschiedener Ausarbeitungsinstrumente

	Folie	HMF	W12	W32	W12/32
Folie	X				
HMF	*	X			
W12	*	*	X		
W32	*		*	X	
W12/32	*	*		*	X

Tab. 101: R_a auf ES nach HMF und unterschiedlichen Poliersystemen

	PS	BR	KP	SS	DG	PT	CM
PS	X						
BR		X					
KP	*	*	X				
SS			*	X			
DG			*		X		
PT	*	*	*	*	*	X	
CM	*		*			*	X

Tab. 102: R_a auf ES nach W12 und unterschiedlichen Poliersystemen

	BR	SS	KP	PT	CM	W12
BR	X					
SS		X				
KP	*	*	X			
PT	*	*		X		
CM	*		*	*	X	
W12	*	-	*	*	*	X

Tab. 103: R_a nach Reinigung verfärbter Sculpture - Prüfkörper

	elektr. Zahnbürste	Sidol	Corega 1min	Hygienic	Kariosan	Colgate sens. white	Corega tabs dental weiß	Nadelstrahlreinigung A	Nadelstrahlreinigung B
elektrische Zahnbürste	X								
Sidol	*	X							
Corega 1min		*	X						
Hygienic	*		*	X					
Kariosan					X				
Colgate sens. white		*				X			
Corega tabs dental weiß	*	*	*	*	*	*	X		
Nadelstrahlreinigung A		*					*	X	
Nadelstrahlreinigung B		*					*		X

Tab. 104: R_a nach Reinigung verfärbter Sinfony - Prüfkörper

	elektr. Zahn- bürste	Sidol	Corega 1min	Hygienic	Kariosan	Colgate sens. white	Corega tabs dental weiß	Nadelstrahl- reinigung A	Nadelstrahl- reinigung B
elektrische Zahnbürste	X								
Sidol	*	X							
Corega 1min	*		X						
Hygienic	*			X					
Kariosan	*				X				
Colgate sens. white	*	*	*	*	*	X			
Corega tabs dental weiß	*					*	X		
Nadelstrahl- reinigung A		*	*	*	*	*	*	X	
Nadelstrahl- reinigung B	*					*		*	X

Tab. 105: R_a nach Reinigung verfärbter Solidex - Prüfkörper

	elektr. Zahn- bürste	Sidol	Corega 1min	Hygienic	Kariosan	Colgate sens. white	Corega tabs dental weiß	Nadelstrahl- reinigung A	Nadelstrahl- reinigung B
elektrische Zahnbürste	X								
Sidol	*	X							
Corega 1min		*	X						
Hygienic	*	*	*	X					
Kariosan	*	*	*	*	X				
Colgate sens. white		*		*	*	X			
Corega tabs dental weiß		*	*		*		X		
Nadelstrahl- reinigung A		*		*			*	X	
Nadelstrahl- reinigung B		*	*		*	*		*	X

Tab. 106: R_a nach Reinigung verfärbter Solidex (neu) - Prüfkörper

	elektr. Zahn- bürste	Sidol	Corega 1min	Hygienic	Kariosan	Colgate sens. white	Corega tabs dental weiß	Nadel- strahl- reinigung A	Nadel- strahl- reinigung B
elektrische Zahnbürste	X								
Sidol	*	X							
Corega 1min		*	X						
Hygienic		*		X					
Kariosan		*			X				
Colgate sens. white	*	*		*	*	X			
Corega tabs dental weiß	*	*	*	*	*	*	X		
Nadelstrahl- reinigung A		*				*	*	X	
Nadelstrahl- reinigung B		*				*	*		X

Tab. 107: R_a nach Reinigung verfärbter Targis - Prüfkörper

	elektr. Zahn- bürste	Sidol	Corega 1min	Hygienic	Kariosan	Colgate sens. white	Corega tabs dental weiß	Nadelstrahl- reinigung A	Nadelstrahl- reinigung B
elektrische Zahnbürste	X								
Sidol		X							
Corega 1min		*	X						
Hygienic	*	*		X					
Kariosan	*	*	*		X				
Colgate sens. white	*	*				X			
Corega tabs dental weiß	*	*	*	*	*	*	X		
Nadelstrahl- reinigung A			*	*	*	*	*	X	
Nadelstrahl- reinigung B			*	*	*	*	*		X

Danksagung

Mein Dank gilt Frau Dr. A. Rzanny und Herrn Univ.-Prof. Dr. D. Welker für die Überlassung des Themas, sowie ihre wertvollen Anregungen und Ideen während der Arbeit.

Dem gesamten Team des Bereichs Werkstoffkunde und Technologie der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der FSU Jena – Frau Dr. Rzanny, Herrn Fachet, Herrn Dr. Göbel und Herrn Univ.-Prof. Dr. Welker – möchte ich herzlich für die gute und angenehme Betreuung danken.

Auch Frau Kaiser vom Institut für Ultraschallforschung danke ich für ihre Unterstützung bei der rasterelektronenmikroskopischen Auswertung.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dennis Seebon und meiner Familie bedanken, die mich immer wieder motiviert und mich allzeit nach Kräften unterstützt haben.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name, Vorname: Staufenbiel, Andrea
Geburtsdatum: 31.08.1979
Geburtsort: Halle/ Saale
Nationalität: deutsch
Familienstand: ledig

Schulbildung:

09/ 1986 – 07/ 1990 Allgemeine Polytechnische Oberschule Karl Marx,
Heilbad Heiligenstadt

09/ 1990 – 07/ 1991 Allgemeine Polytechnische Oberschule, Lutter

09/ 1991 – 07/ 1998 Katholisches Gymnasium St. Elisabeth,
Heilbad Heiligenstadt

1998 Erwerb der allgemeinen Hochschulreife (Abitur)

Studium:

10/ 1998 – 12/ 2003 Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-
Universität, Jena

16.12.2003 bestandenes Staatsexamen der Zahnmedizin an der
Friedrich-Schiller-Universität, Jena

08.01.2004 Approbation zur Zahnärztin

Berufliche Tätigkeit:

01.04.2004 – 30.09.2004 Weiterbildungsassistentin in einer Zahnarztpraxis in
Thüringen

seit 01.10.2004 Weiterbildungsassistentin in einer Zahnarztpraxis in
Hessen

Heilbad Heiligenstadt, den 05.07.2005

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönliche Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: A. Rzanny, A. Kaiser, M. Facht, R. Göbel und D. Welker,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für die Arbeit erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Heilbad Heiligenstadt, den 05.07.2005